Aus dem Institut für Bewegungs- und Sportgerontologie

der Deutschen Sporthochschule Köln

Geschäftsführender Direktor: Univ.-Prof. Dr. Heinz Mechling

Muskuläre Leistung im Krafttraining

Analyse verschiedener Formen der Bewegungsausführung auf die Maximal- und Schnellkraft nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung unter Berücksichtigung akuter hormoneller Auslenkungen

Von der Deutschen Sporthochschule Köln

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Sportwissenschaft

genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Peter Preuß

aus Bremerhaven

Köln 2010

Erster Referent:	Univ.-Prof. Dr. Heinz Mechling
Zweiter Referent:	Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Joachim Mester
Vorsitzende des Promotionsausschusses:	Univ.-Prof. Dr. Ilse Hartmann-Tews
Tag der mündlichen Prüfung	18.11.2010

Eidesstattliche Versicherung

„Hierdurch versichere ich an Eides Statt: Ich habe diese Arbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen und technischen Hilfen angefertigt. Sie hat noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegen. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile davon, sind als Zitate kenntlich gemacht worden."

_____

Peter Preuß

Erklärung

„Hierdurch erkläre ich, dass ich die ‚Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis' der Deutschen Sporthochschule Köln in der aktuellen Fassung eingehalten habe."

_____

Peter Preuß

Vorwort

Die Durchführung wissenschaftlicher Untersuchungen bedarf vielfältiger Unterstützung, wofür ich mich im Folgenden bedanken möchte.

Die vorliegende Arbeit wurde vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft als Projekt „Muskuläre Leistung“ gefördert (VF 07/05/09/2005). Durch die finanzielle Unterstützung konnten die hormonellen Parameter bestimmt und Hilfskräfte für die Untersuchungsdurchführung bezahlt werden.

Ein ganz besonders herzlicher Dank gebührt Prof. Dr. Heinz Mechling für seine uneingeschränkte wissenschaftliche und vor allem persönliche Unterstützung der vergangenen Jahre - von der Themenfindung über die Konkretisierung bis hin zur Diskussion der vorliegenden Dissertation.

Bedanken möchte ich mich auch bei Jens Felder für die Unterstützung als studentische und wissenschaftliche Hilfskraft bei der Untersuchungsdurchführung und der Erstellung der ersten Auswertungsroutinen.

Die Untersuchung wurde in Kooperation mit dem Institut für Sportinformatik und Trainingswissenschaft der Deutschen Sporthochschule Köln durchgeführt. Ich danke Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Joachim Mester und Dr. Heinz Kleinöder für die konstruktiven Gespräche und die Überlassung des Muskelfunktionslabors, in dem Tests und Training stattfanden. Für die Unterstützung bei der Untersuchungsdurchführung im Muskelfunktionslabor möchte ich mich ebenfalls bei Silvia Achtzehn und ihrem Team sowie Ulrike Dörmann und Josha Schmidthüsen bedanken.

Ein großer Dank gilt darüber hinaus den Probanden für ihren unermüdlichen Einsatz bei den Tests und im Training! Ohne die tatkräftige und bedingungslose Unterstützung der Studierenden der Deutschen Sporthochschule Köln wäre diese Untersuchung nicht realisiert worden.

Zu guter Letzt gilt es, vor allem meinem sozialen Umfeld zu danken:

meiner Frau, Manuela Preuß, für ihre Geduld, ihr Verständnis und die fruchtbaren wissenschaftlichen Diskurse;

meiner Familie für die immerwährenden kritischen Nachfragen;

allen Freunden, besonders Claudia und Helmar Winkel, für ihr geduldiges Verständnis;

meinen Kollegen Dr. Sabine Eichberg, Dr. Michael Brach und Prof. Dr. Alfred Effenberg für die Vielzahl konstruktiver Gespräche.

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Arbeit betrachtet die Auswirkungen von drei unterschiedlichen Bewegungsausführungen im Hypertrophie-orientierten Krafttraining über einen Zeitraum von 6 Wochen:

1. intendiert-explosives Mehrsatz-Training (MSTex), 3 Sätze à 6-9 Wiederholungen bei 80% 1 RM bei einer fraktionellen Verteilung der Kontraktionsarten von intendiert-explosiv konzentrisch, 0 sec. isometrisch und 1 sec. exzentrisch,
2. kontrolliert-zügiges Mehrsatz-Training (MST), 3 Sätze à 6-9 Wiederholungen bei 80% 1 RM bei einer fraktionellen Verteilung der Kontraktionsarten von 1 sec. konzentrisch, 0.5 sec. isometrisch und 1 sec. exzentrisch,
3. betont langsames Einsatz-Training (EST), 1 Satz à 6-9 Wiederholungen bei 65% 1 RM bei einer fraktionellen Verteilung der Kontraktionsarten von 4 sec. konzentrisch, 0.5 sec. isometrisch und 4 sec. exzentrisch.

Ziel der Studie war es, diejenige sportartbegleitende Krafttrainingsform im Muskelaufbautraining zu identifizieren, die zu einer Erhöhung ausgewählter Variablen der muskulären Leistung (Beinpresse, Brustpresse) unter Berücksichtigung von Maximal- (Beinpresse, Brustpresse, Beinstrecken, Bizeps Curl) und Sprungkraftveränderungen (Squat Jump) sowie akuter hormoneller Auslenkungen (human growth hormone, insulin-like growth factor 1, Testosteron, Cortisol) führt. Den theoretischen Ausgangspunkt der Studie bildete die Beobachtung von Behm und Sale (1993a), dass der schnellkraftfördernde Effekt einer Krafttrainingsform in erster Linie von der Absicht, eine schnelle Bewegung auszuführen, abhängt und nicht von einer schnellen Bewegung an sich.

Auf der Basis von 67 möglichen Variablen zur Schnellkraftoperationalisierung wurden durch eine Überprüfung der Test-Retest-Reliabilität 10 reliable Variablen für die Betrachtung der muskulären Leistung identifiziert:

1. F_{max} maximale momentane Kraft
2. RFD_{max} maximale momentane Kraftentwicklung
3. P_{max} maximale momentane Leistung
4. RPD_{max} maximale momentane Leistungsentwicklung
5. v_{max} maximale momentane Geschwindigkeit
6. RVD_{max} maximale momentane Geschwindigkeitsentwicklung
7. DOCC Dauer der konzentrischen Phase
8. t_{vmax} Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit
9. F_{Pmax} Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung
10. d_{max} zurückgelegter Gesamtweg

Die **Analyse der Trainingsdaten** zeigte für alle drei Trainingsgruppen über den Untersuchungszeitraum von 6 Wochen eine signifikante Zunahme des Trainingsvolumens, die prozentual betrachtet in allen Gruppen gleich hoch ausfiel. Die signifikant höheren Leistungswerte der MSTex gegenüber der EST und MST in beiden Trainings- und Testübungen Bein- und Brustpresse verdeutlichen die gelungene Umsetzung der intendiert-explosiven Bewegungsausführung in dieser Gruppe.

Im Hinblick auf die eingangs formulierte Fragestellung lässt sich für ein Hypertrophie-orientiertes Krafttraining feststellen, dass ein EST, MST und MSTex in den Testübungen Brust- und Beinpresse zu signifikanten Verbesserungen der **isometrischen und dynamischen Maximalkraft** innerhalb von 6 Wochen führen. Im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigten sich keine statistisch bedeutsamen Unterschiede. Es scheint, dass eine signifikant höhere Spannungsdauer bei einem Training bis zum Muskelversagen das mehr als 3-fach geringere Trainingsvolumen bzw. die mehr als 3-fach geringere Arbeit durch eine einmalige höhere metabolische Beanspruchung „kompensiert" und zu gleichwertigen morphologischen Anpassungen führen kann (Bowtell et al., 2003; Wirtz et al., 2009; Gillies et al., 2006). Hier können unterschiedliche Ermüdungsszenarien (Toigo, 2006b) offensichtlich gleichwertige Ergebnisse bedingen. Hinsichtlich der Sprungkraft zeigten sich in der EST, MST und KON keine Veränderungen, die MSTex verbesserte ihre Sprunghöhe tendenziell.

Die Variablen der **muskulären Leistung** zeigten sowohl gleiche als auch unterschiedliche Ergebnisse für die Testübungen Brustpresse und Beinpresse in den drei Belastungsprotokollen. Gemeinsam konnte für beide Testübungen festgestellt werden, dass zwischen den Gruppen bei einem EST- und MST-Belastungsprotokoll keine statistisch bedeutsamen Unterschiede bestehen. Unterschiede offenbarten sich im Vergleich der MSTex mit den anderen Belastungsprotokollen zum zweiten Messzeitpunkt: die MSTex zeigte in der Brustpresse bei 50% 1 RM eine signifikant höhere RFD_{max} als die EST und MST, in den Leistungsvariablen P_{max} und RPD_{max} waren signifikant höhere Werte gegenüber der EST zu erkennen. Für die Beinpresse gab es keine bedeutsamen Unterschiede zwischen der MSTex und den anderen beiden Trainingsgruppen.
Im Vergleich zur Kontrollgruppe offenbarte keine Trainingsgruppe signifikante Unterschiede in den Variablen der muskulären Leistung bei der Testübung Beinpresse. Für die Brustpresse hingegen waren die Zeitvariablen DOCC und t_{vmax} in der MST gegenüber der KON zum zweiten Messzeitpunkt signifikant verringert. Die MSTex offenbarte eine signifikant höhere RFD_{max} bei 50% 1 RM sowie eine signifikant höhere RPD_{max} bei 80% 1 RM gegenüber der KON.

Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse der Variablen der muskulären Leistung die Bedeutung der koordinativen Anpassungen im Krafttraining (Enoka, 2008) und bestätigen die klassische Theorie der Geschwindigkeitsspezifität, basierend auf isokinetisch gewonnenen Forschungsergebnissen (vgl. Dvir, 2004; Brown & Brown, 2000; Morrissey et al., 1995; Baltzopoulos & Brodie, 1989; Bell & Wenger, 1992). Betrachtet man die Inferenzstatistik, so ist auf Basis der signifikanten Unterschiede zur Kontrollgruppe für die Kraft- und Leistungsentwicklung ein MSTex das Belastungsprotokoll der Wahl, für die Verbesserung der Zeitkomponenten hingegen ein MST.

Das Hauptergebnis der Betrachtung der **hormonellen Auslenkungen** stellte die signifikant höhere hGH-Auslenkung der EST in Woche 1 und 6 dar, wohingegen in beiden MST-Belastungsprotokollen keine bedeutsamen Veränderungen zu erkennen waren. Die höhere hGH-Ausschüttung kann eindeutig auf eine höhere Gesamtspannungsdauer und den damit einhergehenden metabolischen Stress in der EST zurückgeführt werden (Goto et al., 2009; Goto et al., 2008). Die Beurteilung der Veränderung der hormonellen Reaktionen vom ersten (Woche 1) zum zweiten (Woche 6) Messzeitpunkt erfolgte auf Basis der „Area under curve with respect to increase" (AUC_i). Für die hormonellen Parameter Testosteron, Cortisol und hGH zeigten sich keine bedeutsamen Veränderungen. Im Hinblick auf das IGF-1 wiesen die

Belastungsprotokolle MST und MSTex zum zweiten Messzeitpunkt signifikant höhere Auslenkungen auf. Diese Veränderung ist unter Berücksichtigung der unveränderten basalen hGH-Werte durch eine Zunahme der trainingsinduzierten, muskulär stimulierten IGF-1 Ausschüttung in Folge des gesteigerten Trainingsvolumens zu erklären.

Betrachtet man die dargestellten Ergebnisse im Gesamtkontext, so lassen sich aus der vorliegenden Arbeit sieben **Kernaussagen** ableiten:

1. Die EST-, MST- und MSTex-Belastungsprotokolle führen zu gleichwertigen Verbesserungen der isometrischen und dynamischen Maximalkraft.
2. Die MST-Belastungsprotokolle weisen eine höhere praktische Bedeutsamkeit zur Verbesserung der dynamischen Maximalkraft auf.
3. Die Ergebnisse der Variablen der muskulären Leistung bestätigen die Theorie der geschwindigkeitsspezifischen Anpassungen im Krafttraining.
4. Ein MSTex-Belastungsprotokoll ist geeignet, um die Kraft- und Leistungskomponente der muskulären Leistung zu entwickeln.
5. Für die Verbesserung der Zeitkomponenten ist ein MST-Belastungsprotokoll die Trainingsform der Wahl.
6. Ein EST führt zu signifikant höheren akuten hGH-Auslenkungen nach dem Training.
7. Die MST-Belastungsprotokolle erhöhen die trainingsinduzierte, muskuläre stimulierte IGF-1 Ausschüttung nach einem 6-wöchigen Training.

Abstract

This doctoral thesis considers the importance of three different movement types in the hypertrophy-oriented strength training over a period of six weeks:

1. intended maximum concentric acceleration multiple-set training (MSTex), 3 sets of 6-9 repetitions at 80% 1 RM, fractional distribution of contraction types: intended maximum concentric acceleration, 0 sec. isometric and 1 sec. eccentric,
2. controlled-fast multiple-set training (MST), 3 sets of 6-9 repetitions at 80% 1 RM, fractional distribution of contraction types: 1 sec. concentric, 0.5 sec. isometric, and 1 sec. eccentric,
3. slow motion single-set training (SST), one set of 6-9 repetitions at 65% 1 RM, fractional distribution of contraction types: 4 sec. concentric, 0.5 sec. isometric and 4 sec. eccentric.

The **aim of this study** was to identify the sport accompanying hypertrophy-oriented strength training form, leading to an increase of selected variables of muscular power (leg press, chest press) in consideration of maximum strength development (leg press, chest press, leg extension, biceps curl), jump performance (squat jump) and acute hormonal reactions (human growth hormone, insulin-like growth factor 1, testosterone, cortisol). The theoretical starting point of the study was the observation of Behm and Sale (1993a) that the effect of strength training on high-velocity strength performance was primarily caused by the intention to perform a rapid movement, and not by a rapid movement itself.

Ten reliable variables for measuring muscular power were identified through test-retest reliability of 67 possible variables to quantify speed strength:

1. F_{max} maximum strength
2. RFD_{max} maximum rate of force development
3. P_{max} maximum power
4. RPD_{max} maximum rate of power development
5. v_{max} maximum velocity
6. RVD_{max} maximum rate of velocity development
7. DOCC duration of the concentric phase
8. t_{vmax} time to maximum velocity
9. F_{Pmax} strength at maximum power
10. d_{max} maximum displacement

The **analysis of training data** showed a significant increase in training volume for all three training groups over the study period of six weeks. The percental increase in all groups turned out equally high. The significantly higher maximum power of the MSTex compared to the values of EST and MST in both training and testing exercises (leg and chest press) illustrates the successful implementation of the intended maximum concentric acceleration in this group.

With regard to the initially raised question one can assess that within 6 weeks hypertrophy-oriented strength training EST, MST and MSTex lead to a significant increase of isometric and dynamic strength in the test exercises leg press and chest press. Compared to the control group (CON) there were no statistically significant differences. It seems that a significantly

higher time under tension in combination with muscular failure can compensate a more than three times lower training volume or a more than threefold lower work by one single higher metabolic stress training set and finally can induce equivalent morphological adaptations (Bowtell et al., 2003, Wirtz et al., 2009, Gillies et al., 2006). Different scenarios of muscular fatigue (Toigo, 2006b) are obviously leading to equivalent results. In reference to the jump performance EST, MST and CON showed no change whereas the MSTex improved its jump height by trend.

Within the three strength training protocols the variables of **muscular power** showed equal as well as differing results for the test exercises leg and chest press. It was concluded for both test exercises that there were no statistically significant differences between the EST and MST groups. Differences were revealed for the post test measurement of MSTex in comparison with the other training protocols of the second measurement: MSTex showed a significantly higher RFD_{max} as the EST and MST in the chest press at 50% 1 RM, the variables P_{max} and RPD_{max} were significantly higher compared to EST. There were no significant differences between the MSTex and the other two training protocols for the leg press. The test exercise leg press showed no differences between the control group and the three training groups for all variables of muscular power. For the chest press, however, the time-dependent variables DOCC and t_{vmax} displayed significant lower values in the post test measurement for the MST group compared to the CON. The MSTex revealed a significantly higher RFD_{max} at 50% 1 RM and a significantly higher RPD_{max} at 80% 1RM compared to the CON.

Overall, the results of the muscular power variables emphasize the importance of coordinative adaptations in strength training (Enoka, 2008) and confirm the classical theory of velocity specificity in strength training, based on isokinetic research results (see Dvir, 2004; Brown & Brown, 2000; Morrissey et al., 1995; Baltzopoulos & Brodie, 1989; Bell & Wenger, 1992). The statistical comparison between the control group and the training groups favors the MSTex protocol for force and power development on the one hand and on the other hand the MST protocol for the improvement of the time-dependent components.

The main result of the **acute hormonal reactions** was the significantly higher hGH-response of the EST protocol in week 1 and 6, whereas both MST protocols elicited no significant hGH-changes at both measurement times. The higher acute hGH response is clearly related to the higher total time under tension and the associated metabolic stress as a result of the EST protocol (Goto et al., 2009, Goto et al., 2008). The assessment of change in the long term hormonal responses from the first (week 1) to the second (week 6) time of measurement was based on the "Area under curve with respect to increase" (AUC_I). The hormonal response of testosterone, cortisol and hGH showed no significant changes. Both MST protocols elicited significantly higher IGF-1 responses at the second measurement point. Taking the unchanged basal hGH levels into account, this change can be explained by an increased training-induced and muscle-stimulated IGF-1 secretion as a result of the increased training volume.

Overall, seven key points can be deduced from the present study:

1. The EST, MST and MSTex training protocols lead to equivalent improvements in the maximal isometric and dynamic strength.
2. The MST training protocols offer a higher practical significance for improving the dynamic maximum strength.

3. The results of the variables of muscular power confirm the theory of velocity-specific adaptations in strength training.
4. A MSTex training protocol is perfectly suitable to develop the strength and power component of muscular performance.
5. The improvement of the time-dependent component is procured by the MST training protocol.
6. An EST training protocol leads to significantly higher acute hGH reactions after training.
7. Both MST training protocols increase muscle stimulated IGF-1 secretion after six-week of strength training.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 14

2 Theoretische Vorbetrachtungen 17

2.1 Interventionsstudien zum Untersuchungsgegenstand 18

2.1.1 Intendiert-explosive Kontraktionen 18

2.1.2 Unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten 35

2.1.3 Hormonelle Reaktionen 48

2.1.4 Fazit der Interventionsstudien 62

2.2 Der Begriff der Kraft 64

2.2.1 Schnellkraft und muskuläre Leistung 65

2.2.2 Trainingsmethoden der Schnellkraft 67

2.3 Biologische Basis für Kraft und muskuläre Leistung 71

2.3.1 Neuronale Faktoren 72

2.3.2 Neuronale Adaptationen 76

2.3.3 Muskuläre Faktoren 79

2.3.4 Muskuläre Adaptationen 88

2.3.5 Determinanten der Skelettmuskeladaptation 94

2.4 Muskuläre Leistung und ihre Operationalisierung 106

2.4.1 Startkraft 106

2.4.2 Exkurs muskuläre Vorspannung 107

2.4.3 Explosivkraft 112

2.4.4 Weitere Kennziffern der Schnellkraft 113

2.4.5 Leistung 116

2.4.6 Variablen der muskulären Leistung 117

2.5 Explizite Fragestellung und Herleitung der Hypothesen 120

2.5.1 Hypothesen zu Fragestellung 1 120

2.5.2 Hypothesen zu Fragestellung 2 121

2.5.3 Hypothesen zu Fragestellung 3 122

3 Methodik 125

3.1 Belastungskonfiguration des Trainingsprogramms 127

3.2 Messpositionen der Testübungen 130

3.2.1 Messposition Beinpresse 130

3.2.2 Messposition Beinstrecken 131

3.2.3 Messposition Brustpresse 132

3.2.4 Messposition Bizeps Curl 133

3.2.5 Squat Jump 133

3.3 Isometrische Maximalkraftmessung ... 135
3.4 Dynamische Kraftmessung ... 136
3.4.1 One repetition maximum (1 RM) ... 136
3.4.2 Muskuläre Leistung ... 137
3.5 Datenauswertung der muskulären Leistung ... 139
3.5.1 Verwendete Software ... 140
3.5.2 Auswahl und Triggerung der Kraft-Zeit-Kurve ... 141
3.6 Berechnung der Variablen ... 143
3.6.1 Grundlegende Berechnungen ... 143
3.6.2 Muskuläre Vorspannung ... 144
3.6.3 Zurückgelegter Weg ... 144
3.6.4 Normalisierte Kurven ... 144
3.7 Auswertung der Trainingsdaten ... 145
3.8 Erfassung der hormonellen Auslenkungen ... 150
3.9 Statistische Verfahren ... 151
3.9.1 Reliabilität der Variablen der muskulären Leistung ... 151
3.9.2 Datenreduktion ... 153
3.9.3 Varianzanalyse mit Messwiederholung ... 154
3.9.4 Praktische Bedeutsamkeit des experimentellen Effekts ... 156
4 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse ... 158
4.1 Test-Retest-Reliabilitätsbetrachtungen ... 159
4.1.1 Startkraft, Kraftentwicklung und Kraft ... 159
4.1.2 Leistung, Geschwindigkeit und Beschleunigung und deren Entwicklung ... 161
4.1.3 Schnellkraftvariablen nach Zatsiorsky ... 163
4.1.4 Zeitdauer und Zeitmaxima ... 163
4.1.5 Übergreifende Maximalkennziffern ... 164
4.1.6 Hypothesenbesprechung Reliabilitätsbetrachtungen ... 164
4.2 Auswertung der Trainingsdaten ... 167
4.2.1 Grundlegende Trainingsdaten ... 167
4.2.2 Beinpresse ... 168
4.2.3 Brustpresse ... 172
4.2.4 Veränderung des Trainingsvolumens ... 177
4.2.5 Hypothesenbesprechung Trainingsvorgaben ... 179
4.3 Maximal- und Sprungkraft ... 181
4.3.1 Beinpresse ... 181
4.3.2 Beinstrecken ... 182

4.3.3 Brustpresse ... *183*
4.3.4 Bizeps Curl ... *184*
4.3.5 Squat Jump ... *185*
4.3.6 Hypothesenbesprechung und Diskussion ... *186*
4.4 Relative muskuläre Vorspannung ... 194
4.4.1 Reliabilität der Testübungen Bein- und Brustpresse ... *194*
4.4.2 Unterschiedsprüfung der Testübung Beinpresse ... *194*
4.4.3 Unterschiedsprüfung der Testübung Brustpresse ... *196*
4.4.4 Hypothesenbesprechung und Diskussion ... *197*
4.5 Unterschiedsprüfung der Variablen der muskulären Leistung, Testübung Beinpresse ... 199
4.5.1 Maximale Kraft (F_{max}) ... *199*
4.5.2 Maximale Kraftentwicklung (RFD_{max}) ... *200*
4.5.3 Normalisierte Kraft-Zeit-Kurve ... *201*
4.5.4 Maximale Leistung (P_{max}) ... *204*
4.5.5 Maximale Leistungsentwicklung (RPD_{max}) ... *205*
4.5.6 Normalisierte Leistungs-Zeit-Kurve ... *206*
4.5.7 Maximale Geschwindigkeit (v_{max}) ... *209*
4.5.8 Normalisierte Geschwindigkeits-Zeit-Kurve ... *210*
4.5.9 Maximale Geschwindigkeitsentwicklung (RVD_{max}) ... *214*
4.5.10 Dauer der konzentrischen Phase (DOCC) ... *215*
4.5.11 Zurückgelegter Gesamtweg (d_{max}) ... *216*
4.5.12 Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung (F_{Pmax}) ... *217*
4.5.13 Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}) ... *218*
4.5.14 Hypothesenbesprechung und Diskussion ... *219*
4.6 Unterschiedsprüfung der Variablen der muskulären Leistung, Testübung Brustpresse ... 229
4.6.1 Maximale Kraft (F_{max}) ... *229*
4.6.2 Maximale momentane Kraftentwicklung (RFD_{max}) ... *230*
4.6.3 Normalisierte Kraft-Zeit-Kurve ... *231*
4.6.4 Maximale Leistung (P_{max}) ... *234*
4.6.5 Maximale momentane Leistungsentwicklung (RPD_{max}) ... *235*
4.6.6 Normalisierte Leistungs-Zeit-Kurve ... *236*
4.6.7 Maximale Geschwindigkeit (v_{max}) ... *239*
4.6.8 Maximale Geschwindigkeitsentwicklung (RVD_{max}) ... *240*
4.6.9 Normalisierte Geschwindigkeits-Zeit-Kurve ... *242*
4.6.10 Dauer der konzentrischen Phase (DOCC) ... *245*
4.6.11 Zurückgelegter Gesamtweg (d_{max}) ... *246*

4.6.12 Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung (F_{Pmax}) ... 247
4.6.13 Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}) ... 248
4.6.14 Hypothesenbesprechung und Diskussion ... 249
4.7 Hormonelle Reaktionen ... 260
4.7.1 Testosteron ... 260
4.7.2 Cortisol ... 261
4.7.3 Human growth hormone ... 261
4.7.4 Insulin-like growth factor 1 ... 262
4.7.5 Testosteron/Cortisol-Quotient ... 263
4.7.6 „Area under curve with respect to increase" (AUC_i) ... 264
4.7.7 Hypothesenbesprechung und Diskussion ... 265
5 Zusammenfassung, Methodenkritik und Ausblick ... 273
5.1 Zusammenfassende Ergebnisdiskussion ... 274
5.2 Abgeleitete Empfehlungen für die Krafttrainingspraxis ... 279
5.3 Methodenkritik und Ausblick ... 280
5.3.1 Variablen der muskulären Leistung ... 280
5.3.2 Quantifizierung und Qualifizierung des Trainingsreizes ... 282
5.3.3 Intendiert-explosive Kontraktionen ... 284
5.3.4 Hormone ... 285
5.3.5 Weitere Faktoren ... 286
5.3.6 Zukünftiges Forschungskonzept ... 288
6 Literatur ... 293
7 Abbildungsverzeichnis ... 330
8 Tabellenverzeichnis ... 343
9 Formelverzeichnis ... 346
10 Abkürzungsverzeichnis ... 348
11 Anhang ... 352
11.1 Lebenslauf ... 352
11.2 Ergänzende Erläuterungen, Tabellen und Abbildungen ... 357

1 Einleitung

Sportartbegleitendem Krafttraining kommt im leistungssportlichen Training zur Maximierung und Optimierung der muskulären Leistung sowie als Verletzungsprophylaxe (Verbesserung der Gelenkstabilität, Erhöhung der Belastungsverträglichkeit) eine zentrale Rolle zu (Fleck & Kraemer, 2004; Liu, Schlumberger, Wirth, Schmidtbleicher, & Steinacker, 2003; Martin, Carl, & Lehnertz, 1993). In den meisten Sportarten ist die Wettkampfleistung zeit-, weg- und kraftabhängig. „Von der physiologischen Muskelleistung ist im Zusammenhang mit der sportlichen Leistung in erster Linie der in Arbeit umgesetzte Teil wesentlich“ (Martin et al., 1993, S. 101). Die Entwicklung der sportartspezifischen muskulären Leistung stellt eine der wichtigsten physiologischen Adaptationen für die Verbesserung der Leistungsfähigkeit durch begleitendes Krafttraining dar. Ihre Entwicklung besitzt einen höheren Stellenwert als die Entwicklung der Maximalkraft an sich (Duchateau & Hainaut, 2003, p. 317).

Ausgehend von der zentralen Bedeutung des sportartbegleitenden Krafttrainings wird in der vorliegenden Dissertation der Einfluss der Bewegungsausführung im Hypertrophie-orientierten Krafttraining nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung auf die muskuläre Leistung betrachtet. Ein Muskelquerschnittstraining mit hohen Lasten führt sowohl zu einer verbesserten Rekrutierung von Typ-II Muskelfasern, Feuerungsfrequenz und Synchronisation als auch zu einer myofibrillären Muskelquerschnittszunahme (Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson, & Dyhre-Poulsen, 2002) und letztendlich zu einer gesteigerten Kraftentwicklung und Leistung bei gleicher dezidierter Last (Ratamess, Alvar, Evetoch, Housh, Kibler, Kraemer et al., 2009). Unklar ist, ob eine intendiert-explosive[1] Bewegungsausführung im Muskelquerschnittstraining gegen hohe Lasten größere Effekte auf die Kraft- und Leistungsentwicklung hat als eine kontrolliert-zügige oder langsame Bewegungsausführung.

Ausgangspunkt für die vorliegende Dissertation bilden Untersuchungsergebnisse von Behm und Sale (1993a). Die Autoren verglichen eine ballistisch-intendierte Dorsalflexion über 16 Wochen (3 Trainingseinheiten pro Woche) mit zwei unterschiedlichen Bedingungen im „within-subject“-Modell. Ein Fuß wurde am isokinetischen Dynamometer fixiert und konnte intendiert explosiv-isometrische Maximalkontraktion ausführen, während der andere Fuß explosiv-isokinetische Kontraktionen mit 5.23°/s durchführte. Sowohl das konzentrische als auch das isometrische Training führten zu gleichen Kraftverbesserungen bei hohen Bewegungsgeschwindigkeiten. Die Autoren begründen die Ergebnisse damit, dass der schnellkraftfördernde Effekt in erster Linie von der Absicht, eine schnelle Bewegung auszuführen, abhängt und nicht durch die Bewegung per se. Die Erhöhung der explosiven Kraftentfaltung ist somit nicht zwingend an die Dynamik einer Muskelaktion gebunden. Hieraus leiten sie folgende Empfehlung für das leistungssportliche Krafttraining ab:

> It would appear that athletes could improve high-velocity strength performance by attempting rapid movement against high resistance, which causes the actual velocity to be

[1] Gegen äußere Lasten wird maximal explosiv/schnellkräftig gearbeitet. Das äußerlich sichtbare Bewegungsergebnis entspricht bei hohen Lasten nicht der Intention der maximal explosiven/schnellkräftigen Bewegungsausführung. Folglich wird von intendiert-explosiver Bewegungsausführung gesprochen. Im angloamerikanischen Raum wird diese Bewegungsausführung als „intended maximum concentric acceleration (IMCA) technique“ bezeichnet. „IMCA lifting is attempting to lift the resistance as rapidly as possible during the concentric phase of the lift, regardless of the resistance load” (Jones, Bishop, Hunter, & Fleisig, 2001, p. 350).

> low (e.g., attempting to lift very heavy weights rapidly). A potential advantage of this approach to training is that the contractile forces produced are much greater than those obtained with attempted ballistic movements against little or no resistance. Given that the stimulus to contractile protein synthesis is positively related to force of contraction .. , the high-resistance method of training would be more successful in causing hypertrophy. (Behm & Sale, 1993a, p. 367)

Vor allem in Sportarten, in denen während der Saisonvorbereitung wenig Zeit für ein umfassendes und periodisiertes Krafttrainingsprogramm bleibt (Basketball, Fußball, Handball, American Football etc.), könnten die oben genannten komplexen Adaptationen (Schnellkraft, Hypertrophie), ausgelöst durch intendiert-explosive Krafteinsätze gegen hohe Lasten, von größtem Interesse sein. Betrachtet man die klassische Kraft- und Schnellkraftperiodisierung, schließt sich nach einem 8 bis 12-wöchigen Muskelquerschnittstraining ein 4 bis 6-wöchiges Maximal- und Explosivkrafttraining an (Schlumberger, Wirth, Liu, Steinacker, & Schmidtbleicher, 2003, S. 14).

Möglicherweise könnten neben den Effekten der Muskelquerschnittszunahme zusätzliche Maximal- und Explosivkraftverbesserungen mit intendiert-explosiven Krafteinsätzen in der Vorbereitungsphase bzw. im Muskelquerschnittstraining erreicht werden. Ein klassisches Muskelquerschnittstraining im Rahmen einer Periodisierung verbessert die Start- und Explosivkraftparameter „in dieser Trainingsphase in Abhängigkeit vom Ausgangsniveau nur unwesentlich“ (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a, S. 18), „denn die Existenz einer hohen Kraft schließt nicht automatisch eine hohe Kraftbildungsgeschwindigkeit ein“ (Pampus, 2001, S. 42).

Die vorliegende empirische Untersuchung betrachtet die Veränderung ausgewählter Parameter der Kraft und der muskulären Leistung[2] von drei Belastungsprotokollen mit unterschiedlichen Bewegungsausführungen im Rahmen einer 6-wöchigen Interventionsstudie bei einem Hypertrophie-orientierten Krafttraining nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung:

Gruppe 1: intendiert-explosive Bewegungsausführung,
Gruppe 2: kontrolliert-zügige Bewegungsausführung und
Gruppe 3: langsame Bewegungsausführung.

Wie die Literaturlage zeigen wird, handelt es sich um die erste Studie, die drei unterschiedliche Bewegungsausführungen im auxotonischen Krafttraining bei dieser Krafttrainingsmethode untersucht. Die Betrachtung der Untersuchungsvariablen erfolgt unabhängig von sportartspezifischen Kraft-, Zeit- und Geschwindigkeitsspezifika.

Zusätzlich werden akute hormonelle Auslenkungen von Testosteron, Cortisol, insulin-like growth factor (IGF-1) und human growth hormone (hGH) berücksichtigt. Langfristige Testosteronanpassungen bei adäquatem Trainingsstimulus gelten als belegt (Viru, Viru, & Bosco, 2003) und rufen neben Kraft- und Muskelmassenzunahmen möglicherweise die Steigerung neuronaler Faktoren hervor (Nagaya & Herrera, 1995). Bezüglich des hGH zeigten Studien keine Veränderungen der Baseline durch ein Krafttrainingsprogramm, sondern es herrschten akute Reakti-

[2] Muskuläre Leistung beinhaltet sowohl die Schnellkraftdefinition über Kraft-Zeit-Kurven als auch die Betrachtungsweise der Leistung über Kraft-Geschwindigkeits-Kurven sowie die Derivate der Geschwindigkeit und Beschleunigung (vgl. Kapitel 2.2.1 und 2.4).

onen vor (Fleck & Kraemer, 2004, p. 107). Diese akuten Anstiege des hGH sind im Rahmen des hGH/IGF-Syntheseweges von Bedeutung, wonach eine akut erhöhte hGH-Konzentration entweder direkt oder indirekt langfristig erhöhte IGF-I Konzentrationen nach sich ziehen kann (Borst et al., 2001).

> „Another possibility is that hormones (testosterone, epinephrine) are essential for preconditioning the neuromuscular apparatus enabling maximal performance" (Viru et al., 2003, p. 12).

Diese Möglichkeit der „neuromuskulären Präkonditionierung" setzt eine erhöhte Baseline relevanter Hormone voraus, die direkten Einfluss auf die muskuläre Leistung und die weiteren Testparameter haben könnte.

Die Erfassung von Cortisol als kataboles Hormon, das im Rahmen intensiver Trainingsbelastungen ausgeschüttet wird und im Zusammenhang mit dem so genannten Übertrainingssyndrom gebracht wird (Smith, 2000), ist ebenfalls von Bedeutung. Das Testosteron/Cortisol-Verhältnis gilt hierbei als Indikator für den anabolen bzw. katabolen Zustand des Organismus.

Es ergeben sich folgende Fragestellungen:

1. Wie verändern sich die isometrische und konzentrische Maximalkraft sowie die Sprunghöhe nach einem 6-wöchigen Krafttraining nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung mit unterschiedlichen Bewegungsausführungen?
2. Welche Unterschiede sind hinsichtlich der betrachteten Variablen der muskulären Leistung nach einem 6-wöchigen Krafttraining mit unterschiedlichen Bewegungsausführungen nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung feststellbar?
3. Führt ein Krafttraining nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung mit verschiedenen Bewegungsausführungen zu Unterschieden in den akuten hormonellen Reaktionen auf das Training?

2 Theoretische Vorbetrachtungen

Im Sinne eines problemorientierten Ansatzes werden in Kapitel 2.1 die Interventionsstudien zum Untersuchungsgegenstand dargestellt. Aus den vorliegenden Studien zu intendiert-explosiven Kontraktionen gegen hohe Lasten wird ein genereller Mangel an Interventionsstudien zur Geschwindigkeitsspezifität im auxotonischen Krafttraining belegt werden. Der Begriff der Kraft mit dem Schwerpunkt Schnellkraft wird in Kapitel 2.2 betrachtet und leitet nach einer Betrachtung etablierte Schnellkrafttrainingsmethoden über zu den biologischen Grundlagen der Kraft und Schnellkraft in Kapitel 2.3. Für die vorliegende Fragestellung sind die neuronalen und muskulären Adaptationen von besonderem Interesse. Die Verknüpfung von Grundlagenforschung und Trainingspraxis wird durch die Determinanten der Skelettmuskeladaptation hergestellt. Das Kapitel 2.4 stellt Operationalisierungsmöglichkeiten der Schnellkraft in den Vordergrund. Abschließend werden in Kapitel 2.5 die Fragestellungen und Hypothesen formuliert.

Die theoretischen Vorbetrachtungen fokussieren trainingswissenschaftliche Interventionsstudien und physiologische Grundlagen. Im Sinne eines umfassenden Verständnisses des Begriffs „Training“ und unter Berücksichtigung der Untersuchung von „intendiert-explosiven Kontraktionen“ sei jedoch vorab auf das Intentionalitätsproblem im Rahmen der Bewegungsorganisation hingewiesen (Nitsch & Munzert, 1997b, Nitsch & Munzert, 1997a). Intentional, zielgerichtetes Handeln antizipiert zukünftige Ergebnisse, so dass der Weg zur Zielerreichung geplant werden kann. Hierbei sind Systemeigenschaften (physikalische, biologische, psychosoziale und ökologische Freiheitsgrade) und situationsspezifische Randbedingungen zu berücksichtigen. Im Sinne eines Regelkreissystems von Bewegungsrepräsentation und Intentionsbildung, ökologischer Bewegungsangebote sowie Selbstorganisationsprozessen entstehen Bewegungshandlungen.
Gegenwärtig scheint das sportwissenschaftliche Verständnis von Training überwiegend von einem mechanistischen Menschenbild geprägt zu sein. Ein zentraler Impuls führt über eine lineare Ursache-Wirkungs-Kette von Körpertransformation zu einer Körperbewegung, welche darauf aufbauend über die Werkzeugtransformation zu einer Werkzeugbewegung und schlussendlich zu einem Ergebnis führt. Vernachlässigt wird hierbei allerdings der Zweck-Mittel-Zusammenhang im Sinne einer psychologischen Sichtweise:

> Wie muß das interne Modell von der Körper- und Werkzeugtransformation ausgebildet sein …, um ein spezifisch intendiertes Bewegungsergebnis hervorzubringen? (Nitsch & Munzert, 1997a, S. 168)

Im Rahmen einer Gesamtsicht des Bewegungshandels ist die gemeinsame Betrachtung des „Warum?“ (biomechanische Sichtweise) und des „Wozu?“ (psychologische Sichtweise) einer Bewegung gewinnbringend. Die vorliegende Untersuchung fokussiert sich im Sinne einer inhaltlichen Schwerpunktsetzung auf die biomechanische Sichtweise unterschiedlicher Bewegungsausführungen im Hypertrophie-orientierten Krafttraining. Die Darstellung der Bewegungsanweisung für Test und Training findet sich in der Methodik (Kapitel 3.1, 3.4.2 und 3.4.2), mögliche zukünftige Forschungsfragen werden in Kapitel 5.3.3 aufgeworfen.

2.1 Interventionsstudien zum Untersuchungsgegenstand

2.1.1 Intendiert-explosive Kontraktionen

Der Untersuchung von Behm und Sale (1993a) zu explosiv-intendierten Kontraktionen waren eine Vielzahl von Studien vorausgegangen, die sich mit geschwindigkeitsspezifischen Trainingswirkungen an isokinetischen Krafttrainingsgeräten befassten (Caiozzo, Perrine, & Edgerton, 1981; Coyle, Feiring, Rotkis, Cote, 3rd, Roby, Lee et al., 1981; Duchateau & Hainaut, 1984; Ewing, Jr, Wolfe, Rogers, Amundson, & Stull, 1990; Jenkins, Thackaberry, & Killian, 1984; Kanehisa & Miyashita, 1983). Diese Studien zeigten bei isometrischen und langsamen [schnellen] konzentrischen Belastungen Verbesserungen der Kraft bei langsamen [schnellen] Geschwindigkeiten mit geringen [keinen] Kraftzuwächsen bei hohen [niedrigen] Kontraktionsgeschwindigkeiten. Basierend auf den Ergebnissen der Forschungsarbeiten von Desmedt und Godeaux (1977a; 1977b; 1978; 1979), dass „recruitment of single motor units indeed appear similar under isometric and isotonic conditions“ (Desmedt & Godaux, 1979, p. 420), führten Behm und Sale (1993a) eine Interventionsstudie der Dorsalflexoren mit folgender Fragestellung durch:

> Would the velocity-specific response with attempted ballistic movements be the same, regardless of the nature of the ensuing mechanical event (isometric or concentric contraction), or is an actual rapid movement through the range of motion necessary? (Behm & Sale, 1993a, p. 359)

Acht männliche (21.1 ± 0.8 Jahre, 181.9 ± 9.1 cm, 81.9 ± 6.4 kg) und acht weibliche (20.9 ± 0.5 Jahre, 166.6 ± 6.5 cm, 61.3 ± 4.2 kg) Sportstudenten trainierten 16 Wochen drei Mal pro Woche in einem randomisierten intrasubjektiven Design. Mit einem Bein führten die Probanden intendiert-explosive isometrische Dorsalflexionen im 30°-Winkel durch, während mit dem anderen Bein konzentrisch-explosive Kontraktionen am isokinetischen Dynamometer bei 300°/s mit einem Bewegungsausmaß von insgesamt 50° absolviert wurden. Beide Kontraktionsformen führten zu einer Kontraktionsdauer von ca. 0.5 sec. Abbildung 2-1 zeigt den 16-wöchigen Trainingsablauf.

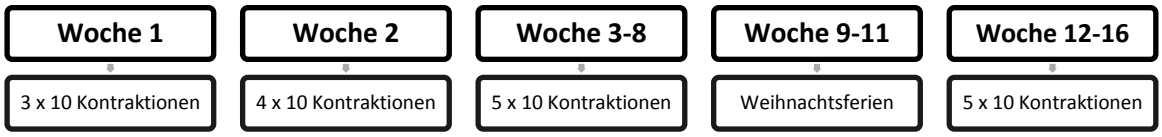

Abbildung 2-1: Trainingsablauf der 16-wöchigen Studie. Zwischen den einzelnen Kontraktionen lag eine einsekündige Pause, die Satzpause betrug 2-3 Minuten.

Die Trainingsreihenfolge der Beine wurde von Einheit zu Einheit gewechselt. Für beiden Kontraktionsformen erhielten die Probanden die identische Anweisung:

> Subjects were instructed to attempt to make maximal ballistic dorsiflexion movements with both legs. Specific instructions were for the subjects to attempt to move as rapidly as possible regardless of the imposed resistance. (Behm & Sale, 1993a, p. 360)

Die Kraftmessungen vor dem Training, nach 8 Wochen und 16 Wochen Training beinhalteten die Erfassung des maximalen Drehmoments bei isokinetischen Kontraktionen mit 0, 0.26, 0.52, 1.04, 1.55, 3.02, 4.19 und 5.23 °/s sowie zusätzlich das maximale Drehmoment und die maximale Kraftentwicklung unter isometrischen Bedingungen. Die Testanweisung entsprach der

Bewegungsanweisung im Training. Abbildung 2-2 zeigt die Veränderungen des maximalen Drehmoments der isokinetischen Tests beider Untersuchungsbedingungen.

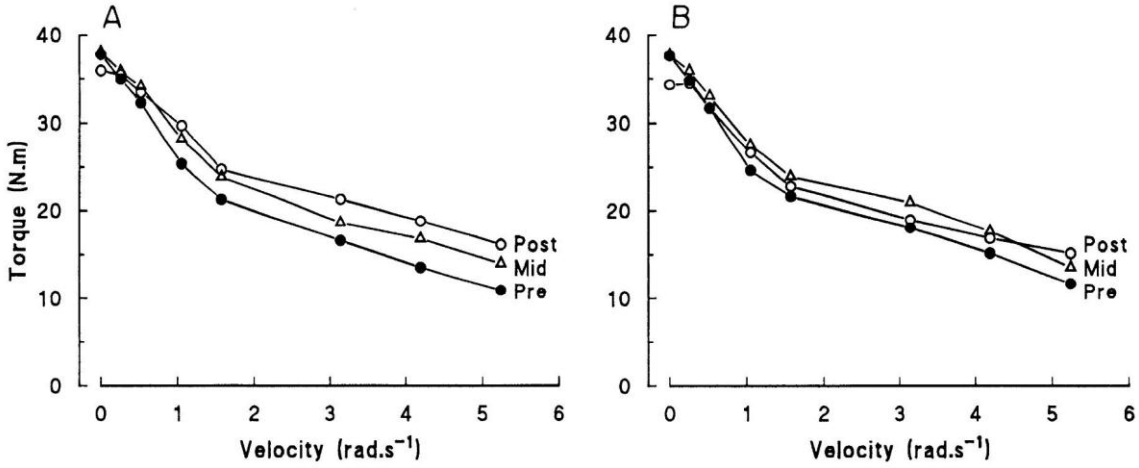

Abbildung 2-2: Trainingsanpassungen des maximalen isokinetischen Drehmoments an intendiert-ballistische isometrische (A) und isokinetische (B) Kontraktionen (Behm & Sale, 1993a, p. 363).

> There was no mode time nor mode time velocity interaction, indicating that the training response to the two modes of training was similar. Both legs showed a similar high-velocity specific training response. (Behm & Sale, 1993a, p. 363)

Die isometrischen Testbedingungen zeigen für das maximale Drehmoment und die maximale Kraftentwicklung ebenfalls keine Gruppenunterschiede, so dass eine zusammengefasste Betrachtung beider Kontraktionsformen vorgenommen wurde. Wie Abbildung 2-3 zeigt, nimmt das isometrische maximale Drehmoment (MVC) vom Pre- zum Mid-Test (7%) und vom Pre- zum Post-Test (10%) bedeutsam zu, der Unterscheid zwischen Mid- und Post-Test ist nicht signifikant.

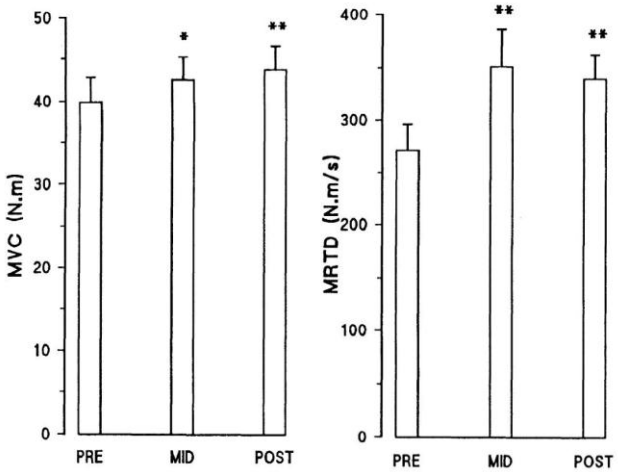

Abbildung 2-3: Trainingsanpassungen des isometrischen maximalen Drehmoments (MVC) und der maximalen isometrischen Explosivkraft (MRTD) beider Gruppen (Behm & Sale, 1993a, p. 364).

Die maximale isometrische Explosivkraft (MRTD) in Abbildung 2-3 zeigt ebenfalls einen bedeutsamen Unterschied zwischen Pre- und Mid-Test (30%) sowie vom Pre- zum Post-Test (26%). Die Abnahme der Explosivkraft im Post-Test ist im Vergleich zum Mid-Test unbedeutend.

Die Autoren interpretieren ihre Ergebnisse dahingehend, dass eine hohe Bewegungsgeschwindigkeit nicht zwingend notwendig ist, um geschwindigkeitsspezifische Anpassungen auszulösen. Stattdessen scheint der Schlüsselmechanismus entweder im motorischen Befehl mit den anschließenden charakteristischen Aktivierungsmustern zu liegen, oder durch die hohe Kraftentwicklung - unabhängig von der Kontraktionsform - bedingt zu sein.

Den Transfer der ballistisch intendierten Kontraktion in das auxotonische Krafttraining nahmen Young und Bilby (1993) vor. Bei 18 untrainierten männlichen Collegestudenten wurden die Auswirkungen einer intendiert-explosiven Kniebeugenausführung im Vergleich zu kontrolliert-zügigen Kontraktionen über einen Zeitraum von 7½ Wochen mit 3 Trainingseinheiten pro Woche untersucht. Beide Gruppen absolvierten 4 Sätze mit einem 8 bis 12 RM, die Satzpause betrug 3 Minuten. Testvariablen waren das absolute und relative 1 RM, die isometrische Maximalkraft sowie die maximale isometrische Kraftentwicklung bei einem Kniewinkel von 100° und die Sprunghöhe beim Squat Jump. Beide Gruppen verbesserten sich signifikant ($p \leq .01$) in allen Testübungen, wobei keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden konnten. Abbildung 2-4 stellt die prozentualen Veränderungen der Testergebnisse beider Gruppen dar. Zwischen den Trainingsgruppen ist kein statistisch bedeutsamer Unterschied festzustellen. Die tendenziell höhere prozentuale Veränderung der Explosivkraft in der intendiert-explosiv trainierenden Gruppe wird von den Autoren wie folgt interpretiert:

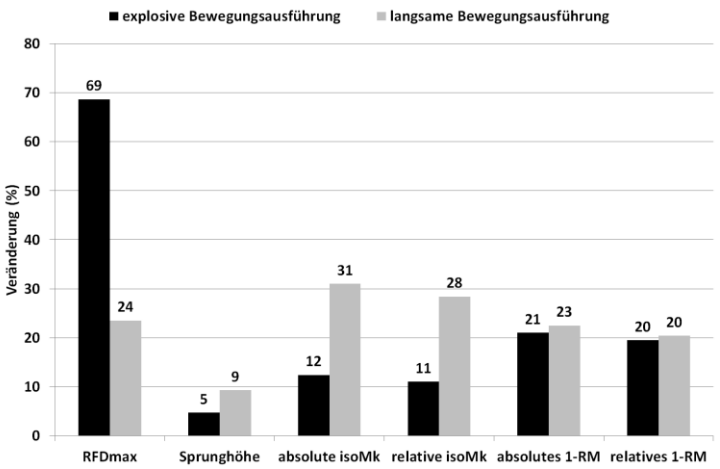

Abbildung 2-4: Mittlere prozentuale Veränderung der Trainingsgruppen. RFD_{max}, maximale isometrische Kraftentwicklung; isoMk, isometrische Maximalkraft (mod. nach Young & Bilby, 1993).

> These findings lend some support to the notion that it may take a conscious effort to achieve explosive contractions for development of fast force production. (Young & Bilby, 1993, p. 176)

Einen Übertrag der höheren Kraftentwicklung der explosiven Bewegungsausführung in den Vertikalsprung zeigte die Untersuchung nicht.

Schlumberger und Schmidtbleicher (2001) konnten die Ergebnisse von Behm und Sale (1993a) durch ein 6-wöchiges Bankdrück-Training mit explosiv-isometrischen Kontraktionen nicht reproduzieren. Es waren weder signifikante isometrische Explosivkraftgewinne noch isometrische Maximalkraftsteigerungen zu verzeichnen (vgl. Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Isometrische Explosiv- und Maximalkraft nach einem 6-wöchigen Bankdrück-Training mit explosiv-isometrischen Kontraktionen (Schlumberger & Schmidtbleicher, 2001).

Gruppe	Test	EXK_{max} 80° (N/s)		EXK_{max} 120° (N/s)		isoMK 80° (N)		isoMK 120° (N)	
		M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
Explosiv-isometrisch	Pre	8.4	1.6	9.8	2	912	239	991	198
	Mid	8.1	1.6	9.9	1.6	912	214	1064	203
	Post	8.4	1.7	10.5	2	931	263	1034	236
Kontrolle	Pre	8	1.5	10.2	2.7	849	177	980	112
	Mid	7.7	1.9	10.3	2.8	860	159	1017	116
	Post	8.2	1.5	10.4	2.3	857	160	1045	122

EXK_{max}, maximale isometrische Explosivkraft; isoMK, isometrische Maximalkraft, *M*, Mittelwert; *SD*, Standardabweichung.

Zum einen könnte die Kontraktionszeit trotz Überschreitung der erforderlichen Intensitätsschwelle zu kurz gewesen sein. Zum anderen könnte die ungewohnte Bewegung der Dorsalflexion im Sprunggelenk für die großen Verbesserungen bei der Studie Behm und Sale (1993a) verantwortlich sein.

> Die Vorstellung, dass der explosivkraftfördernde Effekt im wesentlichen vom maximal-initialen Kontraktionsbefehl und weniger vom mechanischen Folgeereignis abhängt, scheint nicht allgemein zutreffend zu sein. Regelmechanismen während der Muskelverkürzung bei dynamischer Bewegungsausführung, wie z.B. das sensorische Feedback via Muskelspindel, scheinen somit eine nicht zu vernachlässigende Rolle für den Trainingseffekt zu spielen. (Schlumberger & Schmidtbleicher, 2001, S. 98)

Anzumerken ist allerdings, dass sich die Testbedingungen beider Studien unterschieden. Während Behm und Sale (1993a) in verschiedenen Geschwindigkeiten isokinetisch sowie isometrisch testeten, führten Schlumberger und Schmidtbleicher (2001) lediglich isometrische Krafttests durch.

Fielding, LeBrasseur, Cuoco, Bean, Mizer und Fiatarone Singh (2002) ließen 30 ältere Frauen (73 Jahre) über 16 Wochen drei Mal pro Woche intendiert-explosive (HI) oder kontrollierte (2-sekündige konzentrische Phase, LO) Bewegungen an der Beinpresse und im Beinstrecken ausführen. Als abhängige Variablen wurden das 1 RM sowie die maximale Leistung (P_{max}) bei 40%, 50%, 60%, 70%, 80% und 90% des 1 RM in beiden Trainingsübungen erfasst. Das 1 RM zeigte in beiden Trainingsgruppen signifikante Steigerungen für die Testübungen, Gruppenunterschiede konnten nicht nachgewiesen werden. Die maximale Leistung stieg in beiden Trainingsgruppen für alle Lastbedingungen ebenfalls an. Hierbei zeigte die intendiert-explosiv trainierende Gruppe im Gruppenvergleich signifikant höhere Werte in der Beinpresse (vgl. Abbildung 2-5), beim Beinstrecken waren keine Gruppenunterschiede festzustellen.

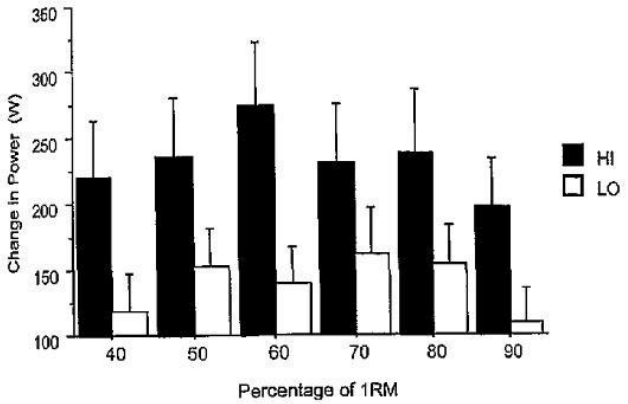

Abbildung 2-5: Veränderungen der maximalen Leistung in der Beinpresse bei den verschiedenen Testlasten. HI, intendiert-explosive Bewegungsausführung; LO, 2-sekündige konzentrische Phase (mod. nach Fielding, LeBrasseur, Cuoco, Bean, Mizer, & Fiatarone Singh, 2002, p. 661).

Eine Regressionsanalyse zeigte, dass in der Trainingsgruppe mit der kontrollierten Bewegungsgeschwindigkeit 78% der Varianz der maximalen Leistung in der Beinpresse durch die Veränderungen in der Maximalkraft aufgeklärt werden konnten. Für die intendiert-explosiv trainierende Gruppe betrug dieser Anteil weniger als 24%.

> These associations suggest that, with traditional LO, gains in peak power are largely achieved or driven by improvements in muscle strength, whereas in the HI group, changes in peak power were likely explained by factors other than muscle strength (e.g., muscle shortening velocity, neural recruitment). (Fielding et al., 2002, p. 661)

Bottaro und Kollegen (2007) untersuchten 24 inaktive Ältere (60-74 Jahre) über einen Zeitraum von 10 Wochen. Pro Woche wurde ein zweimaliges Ganzkörpertraining mit 7 Übungen zu je 3 Sätzen à 8-10 Wiederholungen bei 40-60% des 1 RM durchgeführt. Gruppe 1 (Power-Training) absolvierte intendiert-explosive konzentrische Kontraktionen (1 sec.) bei einer kontrolliert exzentrischen Bewegungsausführung (2-3 sec.), Gruppe 2 (traditionelles Training) führte beide Phasen kontrolliert durch (2-3 sec.). Als abhängige Variablen wurden in der Bein- und Brustpresse das 1 RM sowie die P_{max} bei 60% des 1 RM erhoben.

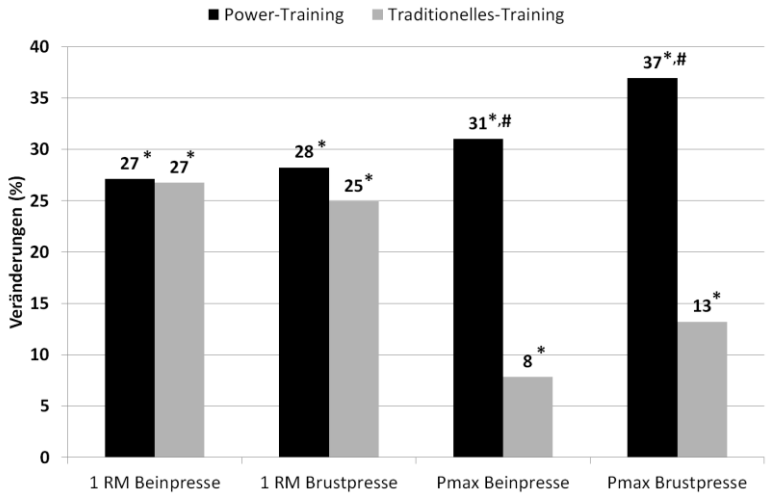

Abbildung 2-6: Veränderung des 1 RM und der maximalen Leistung (P_{max}) in der Bein- und Brustpresse (vgl. Bottaro, Machado, Nogueira, Scales, & Veloso, 2007, pp. 260–261).

Beide Gruppen verbesserten signifikant ihr 1 RM sowie die maximale Leistung (P_{max}). Bedeutsame Unterschiede zeigten sich zwischen Gruppe 1 und 2 in der P_{max} zugunsten der Power-Trainingsgruppe (Abbildung 2-6). Dies führen die Autoren darauf zurück,

> that part of the improved muscle power performance could come from neuromuscular adaptations such as an increased inhibition of antagonist muscles, a better co-contraction of synergistic muscle, an increased activation of synergistic muscles, an inhibition of neural protective mechanisms, and/or an increased motor neuron excitability. (Bottaro et al., 2007, p. 262)

Als weiterer möglicher Mechanismus wird eine erhöhte Feuerungsrate der Motorischen Einheiten durch das Power-Training diskutiert.

Jones, Hunter, Fleisig, Escamilla und Lemak (1999) ließen 30 männliche krafttrainierte Footballspieler über einen Zeitraum von 14 Wochen zwei Mal pro Woche ein herkömmliches Krafttraining mit kontrollierter Ausführung (KON) und ein Krafttraining mit maximaler Beschleunigung (EX) in der konzentrischen Phase mit folgenden Bewegungsgeschwindigkeiten ausführen:

- 50% 1 RM
  - KON: 1. Wdh. 1.14 m/s, letzte Wdh. 0.67 m/s
  - EX: 1. Wdh. 1.32 m/s, letzte Wdh. 0.78 m/s
- 75% 1 RM
  - KON: 1. Wdh. 0.52 m/s, letzte Wdh. 0.17 m/s
  - EX: 1. Wdh. 0.64 m/s, letzte Wdh. 0.21 m/s
- 90% 1 RM
  - KON: 1. Wdh. 0.37 m/s, letzte Wdh. 0.13 m/s
  - EX: 1. Wdh. 0.42 m/s, letzte Wdh. 0.16 m/s

Trainingsübungen waren Bankdrücken, Schrägbankdrücken, enges Bankdrücken, Nackendrücken, Bizeps Curl, Kniebeugen, Umsetzen, Beinbeugen und Kreuzheben mit 3-4 Sätzen à 2-10 Wiederholungen bei 50-95% 1 RM in drei aufeinander aufbauenden Mesozyklen. Von jeder Oberkörperübung wurde ein zusätzlicher Trainingssatz mit Teilwiederholungen[3] durchgeführt. Testvariablen stellten das 1 RM Bankdrücken, der sitzende Medizinballwurf und der plyometrische Liegestütz (mittlere Leistung [P_{mw}], maximale Kraft [F_{max}], Amortisationszeit) dar.

Wie Abbildung 2-7 zeigt, verbesserten sich beide Gruppen über den Trainingszeitraum in allen Testvariablen signifikant ($p \leq .05$). Zwischen den Trainingsgruppen waren keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zu erkennen. Mit Ausnahme der F_{max} sind in allen Variablen größere prozentuale Verbesserungen in der konzentrisch-explosiv trainierenden Gruppe zu erkennen. Die Autoren führen die Ergebnisse darauf zurück, dass es zum Ende der konzentrisch-explosiven Bewegungsausführung zu einer unwillkürlichen Abbremsbewegung kommt (Newton & Kraemer, 1994; Newton, Kraemer, Häkkinen, Humphries, & Murphy, 1996). Um dieses Phänomen zu kompensieren, wurden Teilwiederholungen im möglicherweise problematischen Endbereich der Übungen durchgeführt. Diese Ausführungstechnik wurde in beiden Trainingsgruppen mit den jeweils unterschiedlichen Bewegungsaufgaben verwendet, so dass eine Beurteilung der konzentrisch-explosiven Bewegungsausführung erschwert wird (Jones et al., 1999, p. 104).

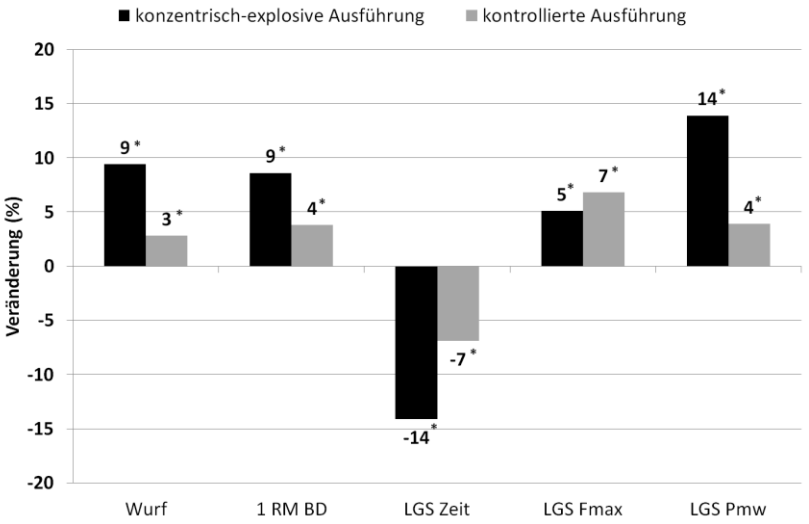

Abbildung 2-7: Veränderungen der Testvariablen beider Trainingsgruppen über den Untersuchungszeitraum. BD, Bankdrücken; LGS, Liegestütz, F_{max}, maximale Kraft; P_{mw}, mittlere Leistung (mod. nach Jones et al., 1999).

Tabelle 2-2 zeigt einen zusammenfassenden Studienüberblick zum Vergleich intendiert-explosiver Kontraktionen mit anderen Bewegungsausführungen.

[3] "A partial repetition is a repetition performed within a restricted range of motion of an exercise" (Fleck & Kraemer, 2004, p. 198).

Tabelle 2-2: Zusammenfassender Studienüberblick zum Vergleich intendiert-explosiver Kontraktionen mit anderen Bewegungsausführungen.

Studie	Übung	Gruppen, Durchführung	Studiendauer, Frequenz	Probanden	Umfang, Dichte	Testübungen, -variablen	Ergebnisse
Behm & Sale, 1993a	Dorsalflexion	iso. intendiert-explosiv isokinetisch 300°/s	16 Wochen, 3 TE/Woche	16 Sportstudenten	3-5 x 10 Kontraktionen, WP: 1 sec. SP: 2-3 min.	isokinetisches (0-5.23 °/s) DM_{max}, isometrisches DM_{max} und RFD_{max}	keine Gruppenunterschiede im DM_{max} und RFD_{max}; gepoolte DM_{max} sowie , isometrisches DM_{max} und RFD_{max} ↑
Bottaro et al., 2007	Beinpresse, -strecken, -beugen, Brustpresse, Sitzendes Rudern, Ellbogenextension, -flexion	1) konz. explosiv (1 sec.), exz. kontrolliert (2-3 sec.) 2) kontrolliert konz. und exz. (je 2-3 sec.)	10 Wochen, 2 TE/Woche	24 inaktive Ältere (60-76 Jahre)	3 x 8-10 x 40-60% 1 RM, SP: 90 sec.	1 RM und P_{max} bei 60% 1 RM in der Bein- und Brustpresse	1 RM: sig. Verbesserungen in beiden Gruppen, keine Gruppenunterschiede P_{max}: sig. ↑ in beiden Gruppen, 1) sig. höhere ↑ als 2)
Fielding et al., 2002	Beinpresse (BP), Beinstrecken (BS)	1) konz. explosiv, iso. 1 sec., exz. 2 sec. 2) konz. 2 sec., iso. 1 sec., exz. 2 sec.	16 Wochen, 3 TE/Woche	30 untrainierte Frauen, 73 Jahre	1) und 2) 3 x 8 x 70% 1 RM, k.A. zur Dichte	1 RM Beinpresse, Beinstrecken P_{max} Beinpresse, Beinstrecken bei 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% des 1 RM	1 RM: sig. ↑ für BP und BS in 1) und 2), keine Gruppenunterschiede P_{max}: sig. ↑für BP und BS in 1) und 2), 1) sig. ↑ für die BP, BS kein Unterschiede
Jones et al., 1999	Bank-, Schrägbankdrücken, enges Bankdrücken, Nackendrücken, Bicepscurl, Kniebeugen, Umsetzen, Beinbeugen, Kreuzheben	1) konz.-explosiv, exz. kontrolliert 2) konz. und exz. kontrolliert detaillierte Geschwindigkeitsangaben	14 Wochen, 2 TE/Woche	30 krafttrainierte männliche Football-Spieler	1) und 2) 3-4 x 2-10 x 50-95% 1 RM, SP: 2 min., 1 Satz mit Teilwiederholungen bei Oberkörperübungen	1 RM Bankdrücken, sitzender Medizinballwurf, plyometrischer Liegestütz: P_{mw}, F_{max}, Amortisationszeit	sig. ↑ in allen Tests für beide Gruppen, keine Gruppenunterschiede
Schlumberger & Schmidtbleicher, 2001	Bankdrücken (80° und 120° Ellbogenwinkel)	explosiv-iso., 0.75-1 sec. Kontraktionszeit Kontrollgruppe	6 Wochen, 2 TE/Woche	19 krafttrainierte Sportstudenten	3 x 3 Kontraktionen bei 80° und 120° Ellbogenwinkel, WP: 3-5 sec., SP: 6 min.	iso. Maximal- und Explosivkraft beim Bankdrücken bei 80° und 120° Ellbogenwinkel	keine bedeutsamen Veränderungen der isometrischen Maximal- und Explosivkraft in der Trainingsgruppe
Young & Bilby, 1993	90° Kniebeuge	1) exz. kontrolliert, konz. explosiv 2) kontrolliert exz. und konz.	7½ Wochen, 3 TE/Woche	18 untrainierte Collegestudenten	4 x 8-12 RM, SP: 3 min.	Kniebeuge 100° isometrisch: absolute und relative Maximalkraft sowie RFD_{max} absolutes und relatives 1 RM, Squat Jump	signifikante ($p \leq .01$) ↑ innerhalb der Gruppen, keine Gruppenunterschiede

↑, Verbesserung; BP, Beinpresse; BS, Beinstrecken; DM_{max}, maximales Drehmoment; F_{max}, maximale Kraft; exz., exzentrisch; iso., isometrisch; k.A., keine Angaben; konz., konzentrisch; P_{max}, maximale Leistung; P_{mw}, mittlere Leistung; RFD_{max}, maximale Kraftentwicklung; SP, Satzpause; TE, Trainingseinheiten; Wdh., Wiederholung; Wo, Wochen; WP, Wiederholungspause.

Almasbakk und Hoff (1996) erweiterten die Fragestellung der intendiert-explosiven Kontraktionen um die Bedeutung der Koordination für die Adaptationen an unterschiedliche Bewegungsausführungen. 40 untrainierte Frauen im Alter von 20-22 Jahren führten über einen Zeitraum von 6 Wochen drei Mal pro Woche vier unterschiedliche Krafttrainingsprogramme durch:

1. Gruppe BPH: Bankdrücken, 3 Sätze à 7 Wiederholungen bei 80-85% des 1 RM
2. Gruppe BPL: Bankdrücken, 3 Sätze à 7 Wiederholungen mit 0.37 kg
3. Gruppe ALT: Lateralflexion Schulter, Armstrecken, 3 Sätze mit 7 RM
4. Gruppe KON: Kontrollgruppe

Alle Trainingsgruppen wurden angewiesen, die konzentrische Phase der Bewegung so schnell wie möglich durchzuführen. Als abhängige Variablen wurden beim Bankdrücken unter isometrischen Bedingungen die maximale Kraftentwicklung (RFD_{max}) und die Zeit bis zum Erreichen von 25% ($t_{Fmax25\%}$) und 50% ($t_{Fmax50\%}$) der Maximalkraft betrachtet. Als dynamische Variablen wurden das 1 RM sowie die mittlere Geschwindigkeit (v_{mw}) bei 0.37, 6.6, 16.6, 20 kg erfasst. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung (Gruppe*Geschwindigkeit*Testzeitpunkt) zeigte für die Gruppen BPH und BPL keine statistisch bedeutsamen Unterschiede. Auf Basis dieses Ergebnisses wurden beide Gruppen zur Gruppe BPC zusammengefasst und zeigten innerhalb der gepoolten Gruppe signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten. Hieraus folgerten die Autoren,

> that training with a light or with a heavy weight is equally effective in bringing about training effects for the bench-press movement with different loads in the early stages of a training program. (Almasbakk & Hoff, 1996, p. 2048)

Ein Vergleich der mittleren Geschwindigkeitsveränderung bei den verschiedenen Testlasten innerhalb der Gruppe BPC stützt die Ergebnisse (vgl. Abbildung 2-8).

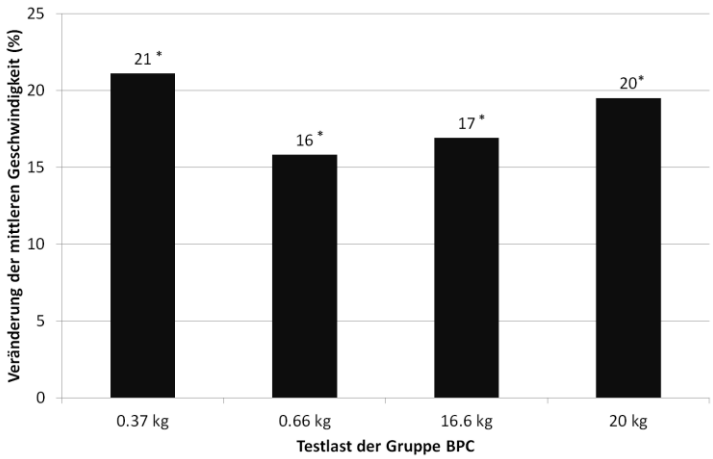

Abbildung 2-8: Prozentuale Veränderungen der mittleren Geschwindigkeiten bei 0.37, 0.66, 16.6 und 20 kg in der Gruppe BHC (BPC, gepoolte Gruppe aus BPH und BPL; mod. nach Almasbakk & Hoff, 1996).

Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu Behm und Sale (1993a), die geschwindigkeitsspezifische Adaptationen fanden. Als mögliche Ursache wird die Kontraktionsform diskutiert. Eine auxotonische Bankdrückbewegung lässt Beschleunigung über die gesamte Bewegungsamplitude zu, wohingegen isokinetische Bewegungen lediglich zu Beginn bis zum Erreichen der eingestellten Bewegungsgeschwindigkeit eine Beschleunigung erlauben. Die unterschiedlichen dynamischen Beschleunigungsbedingungen und -wege könnten zu differierenden Bewegungslösungen geführt haben. Unter auxotonischen Bedingungen könnte die Entwicklung einer Bewegungskoordination und die Anbahnung neuromuskulärer Bewegungsmuster die dominierende Anpassungserscheinung demonstrieren und mögliche geschwindigkeitsspezifische Adaptationen überdecken (vgl. Almasbakk & Hoff, 1996, p. 2050). Ein weiterer Erklärungsansatz liegt im unterschiedlichen Untersuchungsdesign.

Das von Behm und Sale (1993a) verwendete „intrasubjektive“ Design wirft die Frage nach einem möglichen kontralateralen Transfer auf, der die Testergebnisse hätte beeinflussen können (vgl. hierzu Review von Munn, Herbert, & Gandevia, 2004).

Die Betrachtung der Kraftentwicklung bei Almasbakk und Hoff (1996) zeigte keine bedeutsamen Veränderungen innerhalb und zwischen den Gruppen sowie Testzeitpunkten. Die Gruppe BPC ließ im Pre-Post-Vergleich tendenzielle Verbesserungen erkennen ($t_{Fmax25\%}$: p = .064; $t_{Fmax50\%}$: p = .072). Das 1 RM stieg in der Gruppe BPH bedeutsam an und verdeutlicht die altbekannte Notwendigkeit von hohen Lasten zur Steigerung der dynamischen Maximalkraft.

Cronin, McNair und Marshall (2001a) untersuchten analog zu Young und Bilby (1993) eine intendiert-explosive Bewegungsausführung unter auxotonischen Bedingungen, allerdings mit unterschiedlichen Gewichtslasten anstatt differierender Bewegungsausführungen. An der 8-wöchigen Studie mit zwei Trainingseinheiten pro Woche nahmen 21 Netballspielerinnen teil. Gruppe 1 trainierte mit 80% des 1 RM (3 Sätze à 6 Wdh.), Gruppe 2 führte das Training mit 60% des 1 RM (3 Sätze à 8 Wdh.) durch. Die mittlere konzentrische Trainingsgeschwindigkeit betrug 0.308 m/s bzw. 0.398 m/s. In beiden Trainingsgruppen wurden direkt im Anschluss an jeden Trainingssatz 20 explosive Brustpässe mit dem Netball absolviert. Als abhängige Variablen wurden die maximale Geschwindigkeit (v_{max}), die Zeit bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}), die maximale Kraft (F_{max}), die mittlere Leistung (P_{mw}) und die maximale Leistung (P_{max}) beim Bankdrücken an der Multipresse mit Ausstoßen der Last (bench press throw, Testlast 40% 1 RM) sowie die maximale Abfluggeschwindigkeit des Balles beim sitzenden Brustpass erhoben.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung (Zeit*Gruppe) zeigte durchgehend signifikante Steigerungen ($p \leq .05$) der Gruppe 1 im Vergleich zur Kontrollgruppe, P_{mw} stieg bedeutsam im Vergleich zu Gruppe 2 an. Gruppe 2 ließ im Vergleich zur Kontrollgruppe für t_{vmax} und F_{max} signifikante Verbesserungen erkennen.

Tabelle 2-3: Differenz zwischen Pre- und Post-Testwerten für Geschwindigkeit, Kraft und Leistung beim Bankdrücken an der Multipresse mit Ausstoßen der Last bei 40% 1 RM (mod. nach Cronin et al., 2001a).

Variable	Gruppe 1 Kraft	Gruppe 2 Power	Gruppe 3 Kontrolle
v_{max} (m/s)	0.089*	0.045	0.022
Zeit bis v_{max} (sec.)	-0.04*	-0.025*	0.028
F_{max} (N)	2.50*	5.2*	-3.88
P_{max} (W)	16.44*	7.76	0
P_{mw} (W)	13.25#	2.74	6.13

v_{max}, maximale Geschwindigkeit; F_{max}, maximale Kraft; P_{max}, maximale Leistung; P_{mw}, mittlere Leistung; *, sig. Unterschied von Gruppe 1 und 2 zu Gruppe 3; #, sig. Unterschied von Gruppe 1 zu Gruppe 2 und 3.

Die mit Ausnahme der mittleren Leistung identischen Veränderungen beider Trainingsgruppen führen die Autoren auf die parallelisierte Last-Intensität sowie die ähnliche Trainingsgeschwindigkeit zurück.

Die Abfluggeschwindigkeit erhöhte sich in beiden Trainingsgruppen statistisch bedeutsam. Die Differenz zwischen der mittleren Abfluggeschwindigkeit im Netball (11.98 m/s) und der Trainingsgeschwindigkeiten dieser Studie (0.308 m/s bzw. 0.398 m/s) führte seitens der Autoren zu dem Schluss, dass

> it may be that the intention to move the bar as rapidly as possible provides the training stimulus for the improved netball throwing velocity. That is, irrespective of load and limb velocity, the repeated intent to move "explosively" is the principal stimuli for high velocity adaptation. (Cronin et al., 2001a, p. 176)

Folglich halten sie das Konzept für die Unterteilung eines Krafttrainings in langsame und schnelle Bewegungsausführung angesichts der Geschwindigkeitsdifferenzen zur sportartspezifischen Bewegungsgeschwindigkeit für fragwürdig.

Harris et al. (2000) ließen 42 trainierte American Footballspieler (18-20 Jahre) über 9 Wochen vier Mal pro Woche ein Krafttraining mit 5 Sätzen à 5 Wiederholungen mit intendiert-explosiven Kontraktionen durchführen. Gruppe HF trainierte mit 80-85% 1 RM, Gruppe HP mit 30% 1 RM und Gruppe COM mit einer Kombination aus HF und HP. Die Kombinationsgruppe zeigte im Vergleich zur HP Gruppe signifikant bessere Testergebnisse im 1 RM Kniebeuge (KB), 1 RM ¼ Kniebeuge (¼ KB), 1 RM Hangumsetzen (HU) und 10-yard shuttle run (10-yd).

Tabelle 2-4: Pre- und Post-Testergebnisse für das 1 RM und die sportmotorischen Tests (mod. nach Harris et al., 2000).

Testübung	HF		HP		COM	
	Pre-Test	Post-Test	Pre-Test	Post-Test	Pre-Test	Post-Test
KB (kg)	132	145*	138	143	146	163*,#
¼ KB (kg)	251	336*$	258	298*	239	329*,#
HU (kg)	184	246*	197	239*	188	263*,#
VJ (cm)	56.1	57.4	59.2	61.5*	62.2	64.0*
VJP_{mw} (W)	1833	1889	1890	1929	1911	1964*
VJP_{max} (W)	4841	4965	5020	5142*	5135	5270*
SLJ (cm)	2.32	2.35	2.32	2.40*	2.46	2.50
MK (W)	1808	1924*	1838	1931*	1895	2080*
10-yd (sec.)	2.88	2.91	3.00	3.05	3.04	2.97*,#
30-m (sec.)	4.43	4.43	4.40	4.43	4.42	4.36

HF, high force Gruppe; HP, high power Gruppe; COM, Kombinationsgruppe; KB, Kniebeuge; ¼ KB, ¼ Kniebeuge; HU, Hangumsetzen; VJ, Vertikalsprung; VJP_{mw}, mittlere Leistung VJ; VJP_{max}, maximale Leistung VJ; SLJ, Standweitsprung; MK, Margaria-Kalamen stair-climb power test; 10-yd, 10-yard (9.14 m) shuttle run; 30-m, 30-Meter Sprint; #, sig. Unterschied zu HP; $, sig. Unterschied zu HP; *, sig. Unterschied Pre-Post innerhalb der Gruppen ($p \geq .05$).

Die Verbesserung der COM Gruppe in der Maximalkraft und Leistung werden auf neuronale sowie elastische Adaptationen zurückgeführt. Die Zuwächse der Maximalkraft in allen 3 Trainingsgruppen erfolgten ohne eine Zunahme der Lean body mass (LBM). Sie könnten durch neuronale Anpassungen sowie Veränderungen der Myosin-ATPase entstanden sein.

In einer weiteren Studie trainierten Jones et al. (2001) über 10 Wochen à 3 Mesozyklen 26 männliche krafttrainingserfahrene Baseballspieler (20.1 ± 1.4 Jahre) mit konzentrisch-explosiven Kontraktionen bei parallelen Kniebeugen, Kreuzheben, Ausfallschritten und Teilkniebeugen. Gruppe 1 führte 3 Sätze mit 5-15 Wiederholungen bei 40-60% 1 RM durch, Gruppe 2 trainierte 3 Sätze mit 3-10 Wiederholungen bei 70-90% 1 RM. Von jeder Trainingsübung wurde ein zusätzlicher Trainingssatz mit Teilwiederholungen durchgeführt. Testvariablen waren das 1 RM Kniebeuge sowie maximale Leistung (P_{max}), maximale Geschwindigkeit (v_{max}) und maximale Kraft (F_{max}) im Tiefsprung und Squat Jump sowie Countermovement Jump mit einer Zusatzlast von 30% bzw. 50% 1 RM.

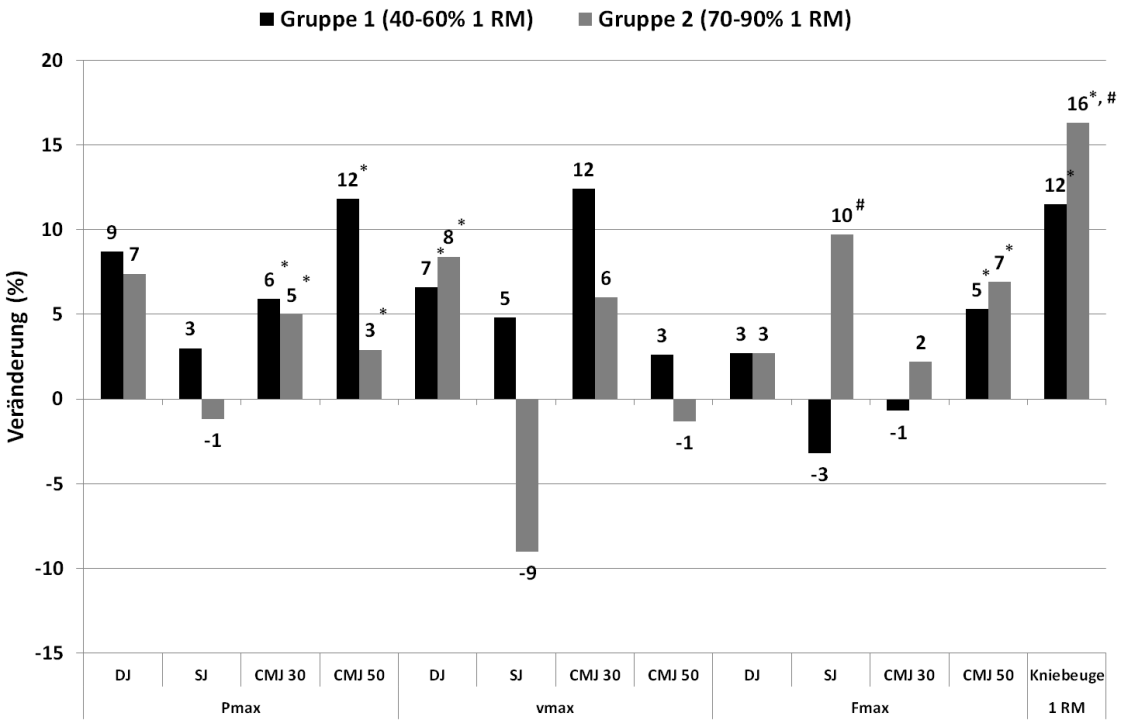

Abbildung 2-9: Veränderungen der Testvariablen (DJ, Drop Jump; SJ, Squat Jump; CMJ 30/50, Countermovement Jump mit 30% bzw. 50% 1 RM; P_{max}, maximale Leistung, v_{max}, maximale Geschwindigkeit; F_{max}, maximale Kraft; *, sig. Unterschied innerhalb der Gruppen ($p \leq .05$); #, sig. Unterschied zwischen den Gruppen ($p \leq .05$); mod. nach Jones et al., 2001).

Anhand der in Abbildung 2-9 dargestellten Ergebnisse lassen sich folgende Trends ablesen: ein Training mit explosiven-konzentrischen Kontraktionen gegen leichtere Lasten könnte die P_{max} und v_{max} verbessern, wohingegen ein Training mit höheren Lasten primär die F_{max} steigert (Jones et al., 2001, p. 355). Die signifikante Steigerung des 1 RM Kniebeuge in Gruppe 1 ist durch die zugrunde liegenden Mechanismen der explosiv-konzentrischen Kontraktion (IMCA) zu erklären.

> It is possible that inclusion of IMCA techniques may have increased relative tension in the muscle enough to stimulate absolute strength adaptations due to high forces encountered during training sessions … The possible combination of the mechanisms of the initial pre-programmed burst of EMG activity, synchronization of motor units, muscular adaptations, and the subsequent servo-loop feedback system while using IMCA techniques … (Jones et al., 2001, p. 355)

Eine Untersuchung zu unterschiedlichen Lasten im explosiv-intendierten Krafttraining führten Moss, Refsnes, Abildgaard, Nicolaysen und Jensen (1997) durch. 32 trainierte Sportstudenten (23.2 ± 3.2 Jahre) absolvierten über einen Zeitraum von 9 Wochen drei Mal pro Woche Armbeugen am Wilkie Apparat. G90 trainierte mit 3-5 Sätzen à 2 Wiederholungen mit 90% des 1 RM, G35 mit 3-5 Sätze à 7 Wiederholungen mit 35% des 1 RM und G15 mit 3-5 Sätzen à 10 Wiederholungen mit 15% des 1 RM. Alle 3 Gruppen führten die Wiederholungen intendiert-explosiv durch. Als abhängige Variablen wurden das 1 RM im Armbeugen sowie die P_{max} als auch v_{max} bei 2.5 kg, 15%, 25%, 35%, 50%, 70% and 90% 1 RM erfasst. Das 1 RM zeigt in allen 3 Gruppen signifikante Verbesserungen. Im Gruppenvergleich verbessert sich G90 im Vergleich zu G15 statistisch bedeutsam. Abbildung 2-10 zeigt für G90 und G35 signifikante Steigerungen

der P_{max} bei allen Testlasten, G15 verbessert sich signifikant bis 50% des 1 RM. Gruppenunterschiede zwischen G90 und G35 zu G15 sind bei 70% und 90% 1 RM festzustellen.

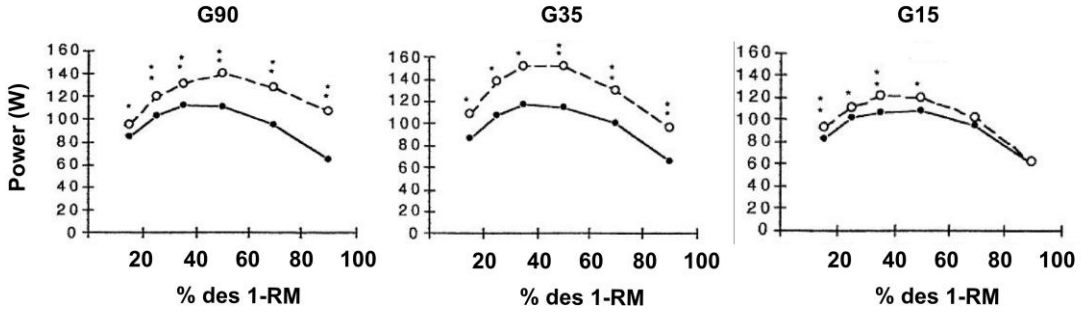

Abbildung 2-10: Veränderung der mittleren maximalen Leistung im Armbeugen bei verschiedenen Testlasten (mod. nach Moss et al., 1997, p. 195; G90, Trainingsgruppe 90% 1 RM; G35, Trainingsgruppe 35% 1 RM; G15, Trainingsgruppe 15% 1 RM.

Die v_{max} veränderte sich bei G90 und G35 signifikant bei allen Testlasten, G15 zeigt bei 15%, 35% und 50% des 1 RM bedeutsame Geschwindigkeitszuwächse. Gruppenunterschiede zwischen G90 und G35 zu G15 sind bei 25%, 70% und 90% 1 RM festzustellen.

Zusammenfassend halten die Autoren fest, dass ein Training bei 90% des 1 RM die Leistung bei allen Testlasten ähnlich stark verbessert, auch bei geringen Widerständen.

> It is also of interest that G90 increased the power even at a load as small as 15%. This conflicts with most previous studies with isokinetic contractions which have reported that gains only occur at the training speed and slower. (Moss et al., 1997, p. 198)

Ein weiteres Indiz für diese Feststellung ist die signifikante Korrelation zwischen 1 RM und der Leistung bei einer Testlast von 12.9 % des 1 RM (2.5 kg).

Eine weitere Untersuchung am so genannten Wilkie-Apparat wurde bereits 1983 von Kaneko, Fuchimoto, Toji und Suei (1983) durchgeführt. 20 untrainierte Männer (18-22 Jahre) trainierten in 4 Gruppen über 12 Wochen drei Mal pro Woche mit je 10 maximalen Kontraktionen die Armbeugung:

- G0: 10 Wiederholungen mit 0% der isometrischen Maximalkraft,
- G30: 10 Wiederholungen mit 30% der isometrischen Maximalkraft,
- G60: 10 Wiederholungen mit 60% der isometrischen Maximalkraft,
- G100: 10 Wiederholungen mit 100% der isometrischen Maximalkraft.

Als abhängige Variablen wurden die isometrische Maximalkraft und die Kraft sowie Geschwindigkeit unter dynamischen Bedingungen bei 0, 10, 20, 30, 45 und 60% der isometrischen Maximalkraft bei 90° Ellbogenflexion erfasst. Die maximale Leistung berechnete sich mittels der Hill-Formel.
Alle 4 Trainingsgruppen verbesserten signifikant die Geschwindigkeit bei allen Testlasten (Ausnahme: G0 bei 45% und 60% der isometrischen Maximalkraft) sowie die maximale Leistung.

Die isometrische Maximalkraft veränderte sich in den Gruppen G100, G60 und G30 signifikant (G100 > G60 > G30), in der Gruppe G0 blieb sie unverändert. Die Differenz der maximalen Geschwindigkeit (Testlast 0%) beider Testzeitpunkte unterscheidet sich zwischen G0 und G60

bzw. G100 statistisch bedeutsam. Die Autoren hoben hierbei hervor, dass es bei einer Trainingslast von 100%, d.h. unter isometrischen Bedingungen, ebenfalls signifikante Geschwindigkeitszunahmen unter unbelasteten Bedingungen gab. Die maximale Leistung zeigte im Vergleich von G30 zu den anderen Trainingsgruppen signifikante Steigerungen (G30 > G100 > G60 > G90).

> In connection with a practical training regime it should also be emphasized that isometric training induces a significant improvement in PV_{max} [P_{max}, der Autor] with considerable increase in velocity under a given load. This fact might be due firstly to a reduction of the relative load by the increased strength, and secondly probably to an increase in nerve impulses to the working muscle. (Kaneko et al., 1983, p. 54)

Diese Ergebnisse unterstützen die Aussagen von Moss et al. (1997).

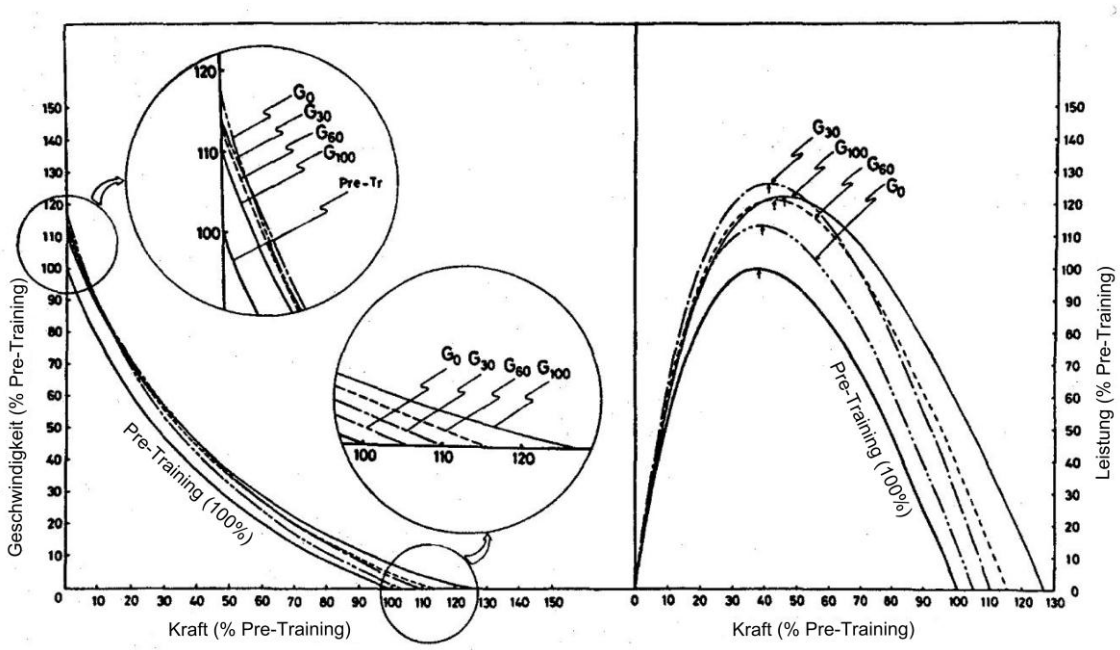

Abbildung 2-11: Relative Veränderungen in der Kraft-Geschwindigkeits-Kurve (links) und der Kraft-Leistungs-Kurve (rechts) in den Trainingsgruppen. Die Pre-Trainingswerte dienen als Referenz (100%) (Kaneko et al., 1983; G0, 0% Trainingslast; G30, 30% Trainingslast; G60, 60% Trainingslast; G100, 100% Trainingslast).

McBride, Triplett-McBride, Davie und Newton (2002) betrachteten ebenfalls die Kraft- und Schnellkraftveränderungen einer intendiert-explosiven Bewegungsausführung mit unterschiedlichen äußeren Gewichtslasten. An der 8-wöchigen Studie (3 Trainingseinheiten pro Woche) nahmen 26 krafttrainierte männliche Probanden (18-30 Jahre) teil. Trainingsübung war die Sprungkniebeuge an der Multipresse mit 30% (SK30) bzw. 80% (SK80) des 1 RM. Als abhängige Variablen wurden das 1 RM sowie F_{max}, P_{max} und v_{max} bei 30%, 55% und 80% des 1 RM für die Sprungkniebeuge erfasst, jeweils kombiniert mit EMG-Messungen der vorderen Oberschenkelmuskulatur. Zusätzlich wurden der Agility T-Test und ein 20-m Sprint durchgeführt. Die Ergebnisse der Sprungkniebeuge mit unterschiedlichen Lasten sind in Abbildung 2-12 dargestellt.

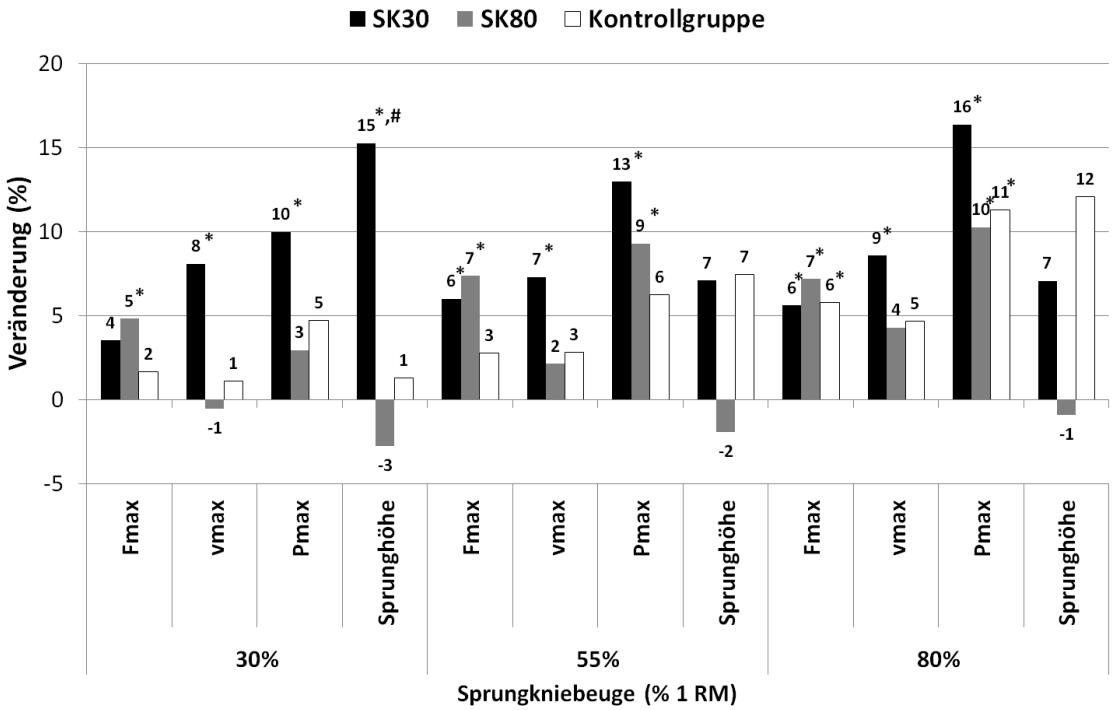

Abbildung 2-12: Prozentuale Veränderungen Gruppen der F_{max}, v_{max}, P_{max} und Sprunghöhe in der Sprungkniebeuge mit unterschiedlichen Testlasten (*, sig. Veränderung von Pre- zu Post-Test ($p \leq .05$); #, sig. Unterschied zwischen JS30 und JS80 ($p \leq .05$); mod. nach McBride et al., 2002, p. 79).

Eine nähere Betrachtung der Ergebnisse lässt den Schluss zu, dass ein intendiert-explosives Training mit hohen Lasten (hier 80% 1 RM) stärker die Kraftkomponente - quantifiziert durch die maximale Kraft (F_{max}) - verbessert, wohingegen ein intendiert-explosives Training gegen geringere Lasten (hier 30% 1 RM) die Geschwindigkeitskomponente der Bewegung positiv verändert. Somit steht diese Untersuchung im Widerspruch zu den von Behm und Sale (1993a) gezogenen Schlussfolgerungen:

> Therefore, it appears that the actual velocity of training, as indicated by the JS30 group, is a vital component of producing high velocity capabilities. (McBride et al., 2002, p. 81)

Die erhobenen EMG-Daten zeigen weiterhin eine statistisch bedeutsame ($p \leq .05$) geschwindigkeitsspezifische Zunahme der elektrischen Aktivität bei den Testlasten von 30% und 80% 1 RM für die Gruppen JS30 und JS80.

Die Effekte zweier unterschiedlicher Trainingsprogramme auf die Kraft, Geschwindigkeit und Leistung betrachteten Toji, Suei und Kaneko (1997) in einer 11-wöchigen Armbeugerstudie am Wilkie-Apparat. Die 12 untrainierten Probanden (21-24 Jahre) beider Gruppen führten drei Mal pro Woche 5 intendiert-explosive Kontraktionen mit 30% F_{max} durch. Gruppe G30+100 absolvierte zusätzlich 5 maximale und intendiert-explosive Kontraktionen mit 100% F_{max}, während Gruppe G30+0 diese unbelastet (0% F_{max}) ausführte. Neben Veränderungen der Maximalkraft und der maximalen Leistung bei 90° Ellbogenbeugung wurde die Kraft-Geschwindigkeits-und Kraft-Leistungs-Kurven betrachtet. Die Kraft-Geschwindigkeits-Kurve zeigt für G30+100 signifikante ($p < .05$) Verbesserungen bei allen Lasten, G30+0 steigerte die Geschwindigkeit signifikant bei Testlasten von 0%, 10%, 20% und 30% (vgl. Abbildung 2-13).

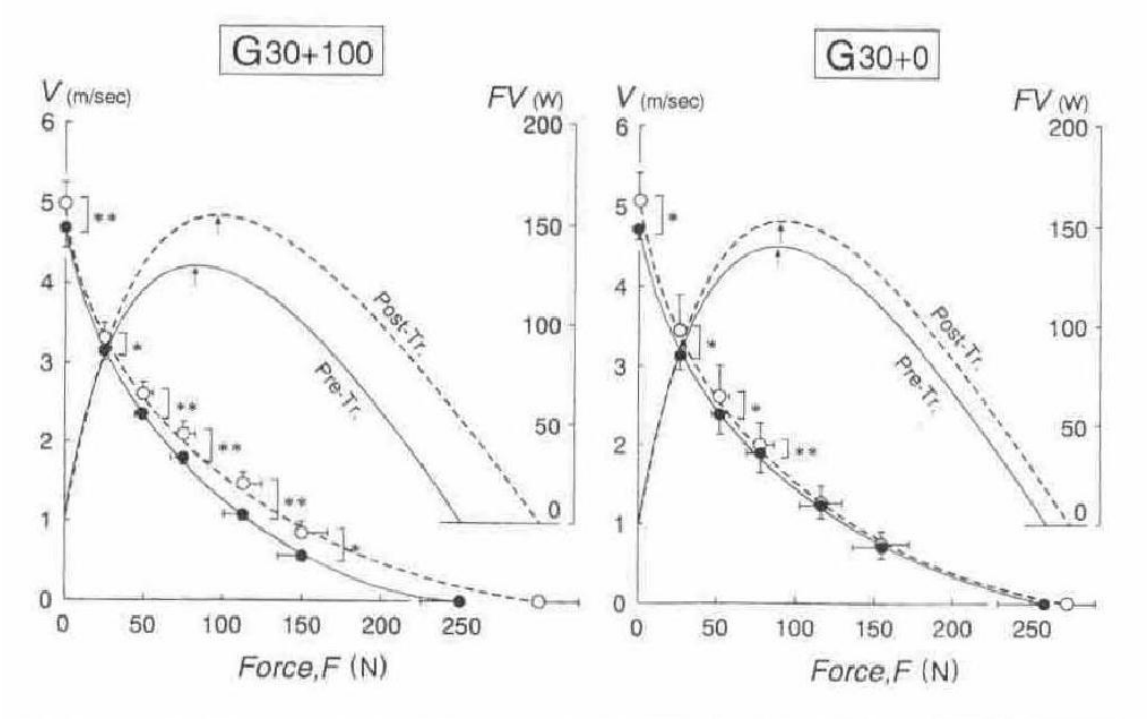

Abbildung 2-13: Kraft-Geschwindigkeits- und Kraft-Leistungs-Kurven vor und nach der Trainingsintervention. Die Pfeile bezeichnen den Punkt des maximalen Leistungsoutputs (Toji et al., 1997; *, signifikanter Unterschied Pre-Post (*p* ≤ .05); **, signifikanter Unterschied Pre-Post (*p* ≤ .01); Erläuterung G30 + 100 und G30 + 100 s. Text).

Die Maximalkraft veränderte sich über den Untersuchungszeitraum nur für G30+100 signifikant, es zeigte sich kein Unterschied zur Gruppe G30+0. Die P_{max} nahm für beide Gruppen statistisch bedeutsam zu, es zeigte sich ein Gruppenunterschied zugunsten der Gruppe G30+100. Die größeren Verbesserungen der Gruppe G30+100 werden von den Autoren auf Kraftverbesserungen und einhergehender Muskelhypertrophie sowie Verbesserungen der neuromuskulären Koordination zurückgeführt. Die Studie von Toji et al. (1997) verdeutlicht somit die Bedeutung der intendiert-explosiven Kontraktionen mit hohen/maximalen Lasten.

Tabelle 2-5 gibt einen zusammenfassenden Studienüberblick zum Vergleich unterschiedlicher Trainingslasten beim intendiert-explosiven auxotonischen Krafttraining.

Tabelle 2-5: Zusammenfassender Studienüberblick zum Vergleich unterschiedlicher Lasten beim intendiert-explosiven auxotonischen Krafttraining, Teil 1.

Studie	Übung	Gruppen, Durchführung	Studiendauer, Frequenz	Probanden	Umfang, Dichte	Testübungen, -variablen	Ergebnisse
Almasbakk & Hoff, 1996	Bankdrücken bzw. Lateralflexion Schulter, Armstrecken	BPH) 80-85% BPL) 0.37 kg ALT) 7 RM CON indendiert-explosive Kontraktionen	6 Wochen, 3 TE/Woche	40 untrainierte Frauen, 20-22 Jahre	BHP) 3 x 7 BPL) 3 x 7 ALT) 3 x7 k.A. zur Dichte	Bankdrücken isometrisch: RFD , $t_{Fmax25\%}$, $t_{Fmax50\%}$; dynamisch: 1 RM, v_{mw} 0.37, 6.6, 16.6, 20 kg	RFD: keine bedeutsamen Veränderungen v: keine bedeutsamen Veränderungen; BPH und BHL gepoolt als BHC zeigen signifikante Veränderungen 1 RM: signifikante ↑ BPH
Cronin et al., 2001a	Bankdrücken (Smith machine)	1) 80% 1 RM intendiert-explosiv 2) 60% 1 RM intendiert-explosiv 3) Kontrollgruppe	8 Wochen, 2 TE/Woche	21 weibliche und untrainierte Korbball-Spielerinnen	1) 3 x 6 x 80% 1 RM 2) 3 x 8 x 60% 1 RM + je 20 explosive Brustpässe k.A. zur Dichte	Bankdrücken (Multipresse): v_{max}, t_{vmax}, F_{max}, P_{mw}, P_{max} maximale Abfluggeschwindigkeit Ball sitzender Brustpass	Bankdrücken 1) sig. ↑ v_{max}, t_{vmax}, F_{max} zu 3; P_{mw}, P_{max} zu 2 und 3 2) sig. ↑ t_{vmax}, F_{max} zu 3 maximale Abfluggeschwindigkeit: sig. ↑ von 1 und 2 zu 3
Harris et al., 2000	Parallelkniebeugen ¼ Kniebeugen Bankdrücken Push press Hangumsetzen Kreuzheben Überzüge	HF) 80-85% 1 RM HP) 30% 1 RM COM) Kombination von HF und HP Alle 3 Gruppen trainieren mit indendiert-explosiven Kontraktionen	9 Wochen, 4 TE/Woche	42 trainierte Footballspieler, 19-20 Jahre	HF) 5 x 5 x 80-85% 1 RM HP) 5 x 5 x 30% 1 RM COM) Kombination von HF und HP k.A. zur Dichte	1 RM Parallelkniebeuge (KB) 1 RM ¼ Kniebeuge (¼ KB) 1 RM Hangumsetzen (HU) 10 sportmotorische Tests (s. Tabelle 2-4)	Veränderungen in den Gruppen s. Tabelle 2-4 COM sig. ↑ KB, ¼ KB, HU, 10-yd shuttle run gegenüber HP HF sig. größere ↑ in ¼ KB als HP
Jones et al., 2001	Parallelkniebeuge, Kreuzheben, Ausfallschritte, Teil-Kniebeugen	1) und 2) konz.-explosiv, exz. k.A.	10 Wochen, 2 TE/Woche	26 trainierte männliche Baseballspieler (20.1 ± 1.4 Jahre)	1) 3 x 5-15 x 40-60% 1 RM 2) 3 x 3-10 x 70-90% 1 RM 2 min Satzpause 1 Satz Teilwiederholungen bei allen Übungen	1 RM Kniebeuge P_{max}, v_{max}, F_{max} im Tiefsprung, Squat jump, Countermovement jump (CMJ) mit 30% und 50% des 1 RM	1 RM: sig. ↑ in 1 und 2, sig. ↑ in 2 als in 1 P_{max}: sig. ↑ 30% und 50% CMJ in 1 und 2, keine Gruppenunterschiede v_{max}: sig. ↑ Tiefsprung in 1 und 2, keine Gruppenunterschiede F_{max}: CMJ 50% und SJ sig. ↑ in 1 und 2, keine Gruppenunterschiede

↑, Verbesserung; Gruppenabkürzungen s. Text; CMJ, Countermovement jump; exz., exzentrisch; F_{max}, maximale Kraft; F, Kraft; k.A., keine Angaben; konz., konzentrisch; SJ, Squat jump; $t_{Fmax25\%/50\%}$, Zeitdauer bis zum Erreichen von 25%/50% F_{max}; TE, Trainingseinheit; t_{vmax}, Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit; P_{max}, maximale Leistung; P_{mw}, mittlere Leistung; RFD, maximale Kraftentwicklung; SP, Satzpause; v_{max}, maximale Geschwindigkeit.

Tabelle 2-6: Zusammenfassender Studienüberblick zum Vergleich unterschiedlicher Lasten beim intendiert-explosiven auxotonischen Krafttraining, Teil 2.

Studie	Übung	Gruppen, Durchführung	Studiendauer, Frequenz	Probanden	Umfang, Dichte	Testübungen, -variablen	Ergebnisse
Kaneko et al., 1983	Armbeugen (Wilkie-Apparat)	G0) 0% isoMK G30) 30% isoMK G60) 60% isoMK G100) 100% isoMK	8 Wochen, 3 TE/Woche	20 untrainierte Männer (18-22 Jahre)	alle Gruppen 1 x 10 Kontraktionen; Wiederholungspause k.A.	Armbeugen (90° Flexion): isoMK, v_{max} bei 0, 10, 20, 30, 45, 60% isoMK; P_{max}	isoMK: G100, G60 und G30 sig. ↑ (G100 > G60 > G30), G0 unbedeutend v_{max}: 0% G0 sig. ↑ als G60 und G100 P_{max}: G30 zu den anderen Trainingsgruppen sig. ↑ (G30 > G100 > G60 > G09)
McBride et al., 2002	Jump Squat (Smith machine) mit Bremssystem	SK30 und SK80) intendiert-explosiv C) Kontrollgruppe	8 Wochen, 2 TE/Woche	26 Männer (18-30 Jahre) mit Krafttrainingserfahrung	SK30) 5 x 6-7 x 30% 1 RM SK80) 4 x 5-6 x 80% 1 RM; SP: 3 min.	1 RM Kniebeuge (80°); Sprungkniebeuge 30%, 55%, 80% 1 RM: F_{max}, v_{max}, P_{max}, Sprunghöhe; Agility T-Test (AGT); 20-m Sprint (5-, 10-, 20-m Zeit); EMG bei 1 RM und Sprungkniebeuge	1 RM: sig. ↑ SK30 und 80, Sprungkniebeuge 30%: SK30 sig. ↑ P_{max}, v_{max}, Sprunghöhe (auch im Vgl. zu SK80), SK80 sig. ↑ F_{max} Sprungkniebeuge 55%:SK30 sig. ↑ F_{max}, P_{max}, v_{max}, SK80 sig. ↑ F_{max}, P_{max}; Sprungkniebeuge 80%: SK30 sig. ↑ F_{max}, P_{max}, v_{max}, SK80 und C sig. ↑ F_{max}, P_{max}; AGT: sig. ↑ SK30 und 80 20-m Sprint: 10-m Zeit SK30 sig. größere ↑ als SK80, SK80 5-m Zeit sig. ↓ EMG: 55%, 80% und 1 RM sig. ↑ SK30 und 80, 30% SK30 sig. ↑ als C, 80% SK 80 sig. ↑ als C
Moss et al., 1997	Armbeugen (Wilkie-Apparat)	G90) 90% 1 RM G35) 35% 1 RM G15) 15% 1 RM Alle 3 Gruppen trainierten mit indendiert-explosiven Kontraktionen	9 Wochen, 3 TE/Woche	31 gut trainierte Sportstudenten (23.2 ± 3.2 Jahre)	G90) 3-5 x 2 G35) 3-5 x 7 G15) 3-5 x 10 k.A.	Armbeugen: 1 RM, P_{max} und v_{max} bei 2 kg, 15%, 25%, 35%, 50%, 70%, 90% des 1 RM	1 RM: alle 3 Gruppen sig. ↑, G90 sig. ↑ zu G15 P_{max}: G90 und G35 sig. ↑ bei allen Testlasten, G35 sig. ↑ bis 50%, 70% und 90% G90 und G35 sig. ↑ zu G15 v_{max}: G90 und G35 sig. ↑ bei allen Lasten, G15 bei 15%, 35% und 50% ↑; bei 25%, 70% und 90% G90 und G35 sig. ↑ zu G15
Toji et al., 1997	Armbeugen (Wilkie-Apparat)	G30+100) 30% F_{max} + 100% F_{max} G30+0) 30% F_{max} + unbelastete Kontraktion	11 Wochen, 3 TE/Woche	12 untrainierte Männer (21-24 Jahre)	G30+100) 5 x 30% F_{max} + 5 x 100% F_{max} G30+0) 5 x 30% F_{max} + 5 x unbelastete Kontraktion	Armbeugen: F, v und P bei 10, 20, 30, 45, 60 und 100% F_{max} bei 90° Ellbogenflexion v_{max} bei 0% F_{max}	v_{max}: G30 + 100: sig. ↑ bei allen Lasten G30 + 0: sig. ↑ F0, F10, F20, F30 F_{max}: nur G30+100 sig. ↑, kein Gruppenunterschied P_{max}: G30+100 und G30+0 sig. ↑, sig. größere ↑ in G30+100

↑, Verbesserung ; Gruppenabkürzungen s. Text; isoMK, isometrische Maximalkraft; F_{max}, maximale Kraft; F, Kraft; k.A., keine Angaben; TE, Trainingseinheit; P, Leistung; P_{max}, maximale Leistung; P_{mw}, mittlere Leistung; SP, Satzpause; v, Geschwindigkeit; v_{max}, maximale Geschwindigkeit.

2.1.2 Unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten

Einen generellen Mangel an Studien zu den Auswirkungen unterschiedlicher Bewegungsgeschwindigkeiten an auxotonischen Krafttrainingsgeräten konstatieren Pereira und Gomes (2003) in einem Übersichtsartikel. Diese Problematik wird auch von Cronin, McNair und Marshall (2003b, p. 148) aufgegriffen:

> However, there is very little published information on the effects of regular exercise on this relationship. Research that does investigate velocity-related force production typically uses isokinetic testing and training paradigms.

Im Folgenden wird ein Überblick über durchgeführte Interventionsstudien im auxotonischen Krafttraining gegeben.

Gillies, Putman und Bell (2006) ließen 28 Frauen über einen Zeitraum von 9 Wochen drei Mal pro Woche ein Krafttrainingsprogramm mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten in der konzentrischen und exzentrischen Phase durchführen. Die ‚long concentric training group' (LC) benötigte für die konzentrische Bewegungsphase 6 sec., die exzentrische Phase dauerte 2 sec. Die ‚long eccentric training group' (LE) führte die konzentrische Bewegungsphase in 2 sec. durch, die exzentrische Phase wurde mit 4 sec. Dauer betont. Zwischen den Bewegungsphasen lag eine einsekündige Pause. Das Training bestand aus den Übungen Beinpresse, Parallelkniebeugen, Beinstrecken, Beinbeugen, Bankdrücken und einer frei zu wählenden sechsten Übungen (Bizeps Curl, Latziehen oder Rudern sitzend). Neben konzentrischen, exzentrischen und konzentrisch-exzentrischen Maximalkraftveränderungen an der Beinpresse wurden Veränderungen in der Muskelfaserzusammensetzung und Cortisolkonzentration im Urin erfasst. Beide Gruppen zeigten signifikante Kraftzunahmen ($p \leq .001$) in allen Krafttests, Gruppenunterschiede waren nicht zu erkennen. Die Trainingsintervention führte in beiden Gruppen zu einer signifikanten MHCIId(x) Abnahme mit korrespondierender signifikanter MHCIIa Zunahme ($p \leq .02$). Das konzentrisch betonte Training führte zu einer signifikanten Zunahme der Muskelfaserfläche der Typ I und IIA-Fasern, wohingegen die betont exzentrisch trainierende Gruppe lediglich die Fläche der Typ I-Fasern statistisch bedeutsam vergrößern konnte (Abbildung 2-14).

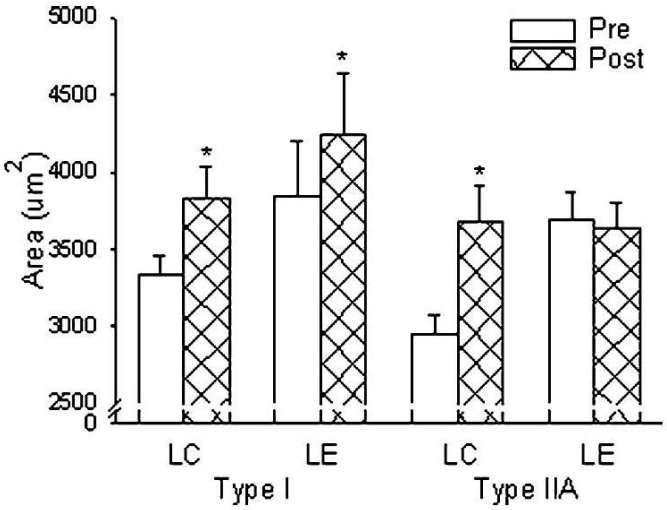

Abbildung 2-14: Muscle fibre CSA (µm²) pre- and post-training. Values are mean (SE). Long concentric training group (LC), long eccentric training group (LE). * indicates significant ($p < 0.01$) divergence from previous measurement. Differences between groups were not significant (Gillies, Putman, & Bell, 2006, p. 449).

Als mögliche Ursachen für diesen Befund werden zum einen die geringere Aktivierung von Motorischen Einheiten in der exzentrischen Bewegungsphase diskutiert und zum anderen die höhere metabolische Belastung bei konzentrischen Kontraktionen angeführt. Letzteres wird durch die signifikant höhere urinale Cortisolkonzentration ($p \leq .05$) in der Gruppe LC gestützt.

In einer vorhergehenden Studie verglichen Gillies und Docherty (1999) ein 8-wöchiges Ellbogenflexoren- und -extensorentraining hinsichtlich einer unterschiedlich langen konzentrischen Spannungsdauer. Gruppe SS (Super Slow) führte 2 Sätze mit einem 8 RM bei 8 sec. konzentrischer Phase und 2 sec. exzentrischer Belastung durch, Gruppe ET (Even Tempo) absolvierte 4 Sätze mit einem 8 RM bei je 2 sec. konzentrischer und exzentrischer Belastungsdauer. Beide Gruppen zeigten gleichwertige signifikante Kraftzunahmen, der Muskelquerschnitt des Trizeps' nahm signifikant zu, der Bizeps vergrößerte seinen Querschnitt nur in der Gruppe SS. Als mögliche Ursache diskutieren die Autoren die statistisch bedeutsame Zunahme des Trainingsvolumens in der Gruppe SS nach 4 Wochen.

In der Trainingsstudie von Haller (2007) trainierten 22 Probanden (14 Männer, 8 Frauen, 18-58 Jahre) über 8 Wochen drei Mal pro Woche an einem auxotonischen Beinstreckgerät:

- Gruppe 1: konzentrische Phase 3 sec., exzentrische Phase 1 sec.,
- Gruppe 2: konzentrische Phase 1 sec., exzentrische Phase 3 sec.,
- Gruppe 3: Kontrollgruppe.

Die Probanden führten 7 Trainingssätze mit 15 Wiederholungen bei 3 Minuten Satzpause durch. Die Belastungssteuerung erfolgte über das subjektive Belastungsempfinden (RPE nach Borg).

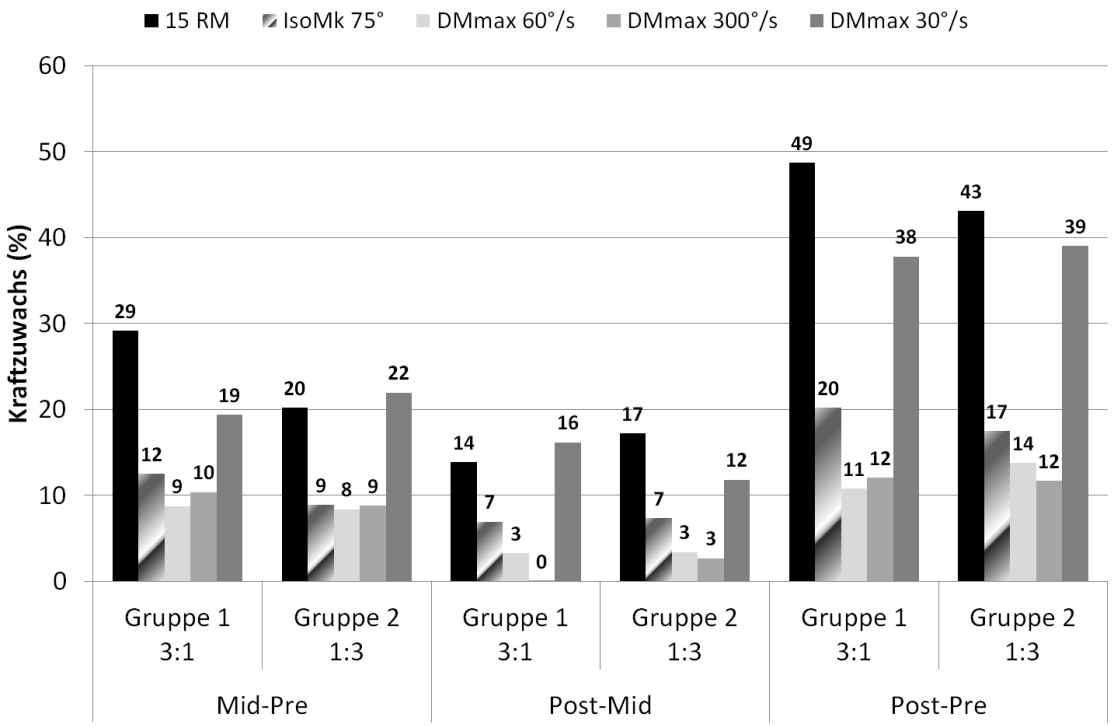

Abbildung 2-15: Prozentuale Kraftveränderung aller Tests (mod. nach Haller, 2007, S. 53).

Als abhängige Variablen wurden das 15 RM, die isometrische Maximalkraft bei 75° Knieflexion, das isokinetische maximale Drehmoment bei 60°/s und die Gesamtarbeit bei 300°/s über 50 Wiederholungen in der Konzentrik und das maximale Drehmoment bei 30°/s in der Exzentrik in Woche 0, 4 und 8 betrachtet. Innerhalb der Trainingsgruppen zeigten sich über den Betrachtungszeitraum signifikante Verbesserungen in allen Variablen. Zwischen den Gruppen wies Gruppe 2 signifikant höhere isometrische Maximalkraftwerte im Pre- und Post-Test auf.

> Es zeigte sich eine Überlegenheit der trainingsspezifischen Adaptation. Dies bedeutet, dass die im Training durchgeführte Kniestreckerübung bei der Testserie die größten Kraftzuwächse zu verzeichnen hatte. (Haller, 2007; S. 52, vgl. Abbildung 2-15)

Insgesamt zeigte sich unter auxotonischen Bedingungen eine leicht erhöhte Trainingseffektivität der betont konzentrisch trainierenden Gruppe.

Keeler, Finkelstein, Miller und Fernhall (2001) untersuchten im Rahmen eines Einsatz-Trainings die Auswirkungen unterschiedlicher konzentrischer und exzentrischer Bewegungsausführungen auf die Maximalkraft (1 RM). Über einen Zeitraum von 10 Wochen mit 3 Trainingseinheiten pro Woche führten 14 untrainierte Frauen ein Ganzkörpertraining (Beinpresse, Beincurl, Beinstrecken, Latziehen, Brustpresse, Rudern, Bizeps Curl, Trizepsdrücken) durch. Die traditionelle Gruppe (TR) benötigte 2 sec. für die konzentrische und 4 sec. für die exzentrische Bewegungsphase, die Gruppe Superslow (SS) 10 sec. für die konzentrische und 5 sec. für die exzentrische Phase. Beide Trainingsgruppen verbesserten im Pre-Post-Vergleich signifikant ihre Maximalkraft ($p \leq .05$). Der Gruppenvergleich zeigt mit Ausnahme der Übungen Rudern, Trizepsdrücken und Bizeps Curl signifikant höhere Maximalkraftzunahmen für die traditionell trainierende Gruppe (Abbildung 2-16).

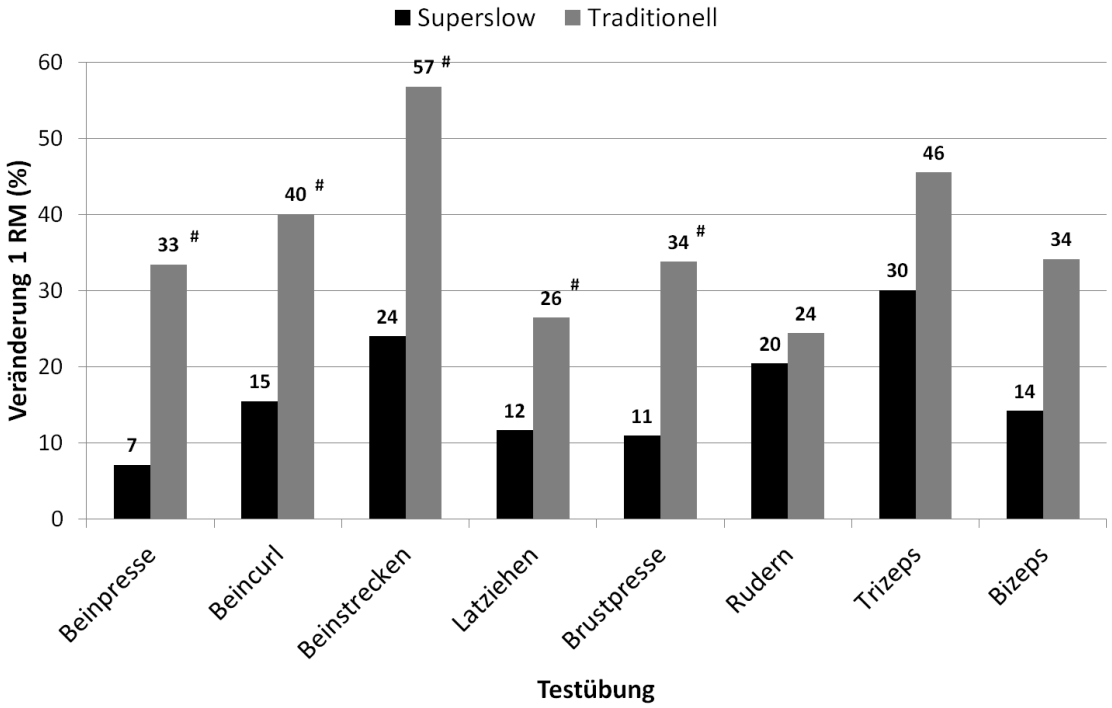

Abbildung 2-16: Prozentuale Veränderung der Maximalkraft in der Traditionellen und Superslow Gruppe (#, signifikanter Unterschied Pre-Post ($p \leq .05$); mod. nach Keeler et al., 2001).

Morrissey, Harman, Frykman und Han (1998) betrachteten bei 24 untrainierten Frauen (24 Jahre) über 7 Wochen mit 3 Trainingseinheiten pro Woche die Auswirkungen unterschiedlicher Bewegungsgeschwindigkeiten in der Kniebeuge. Gruppe 1 führte die Kniebeuge mit 50°/s aus (je 2 sec. kon- und exzentrisch), Gruppe 2 wies eine Bewegungsgeschwindigkeit von 100°/s auf (je 1 sec. kon- und exzentrisch). Vor und nach der Intervention wurden die Leistung im Vertikal- und Weitsprung, das 1 RM Kniebeuge bei beiden Untersuchungsgeschwindigkeiten, die isometrische Maximalkraft in der Kniestreckung sowie die Gesamtarbeit der isokinetischen Kniestreckung bei 25, 50, 100 und 125°/s. Die sportmotorischen Tests zeigten in beiden

Gruppen durchgehend signifikante Verbesserungen innerhalb der Gruppen, Gruppenunterschiede waren nicht zu erkennen (vgl. Abbildung 2-17).

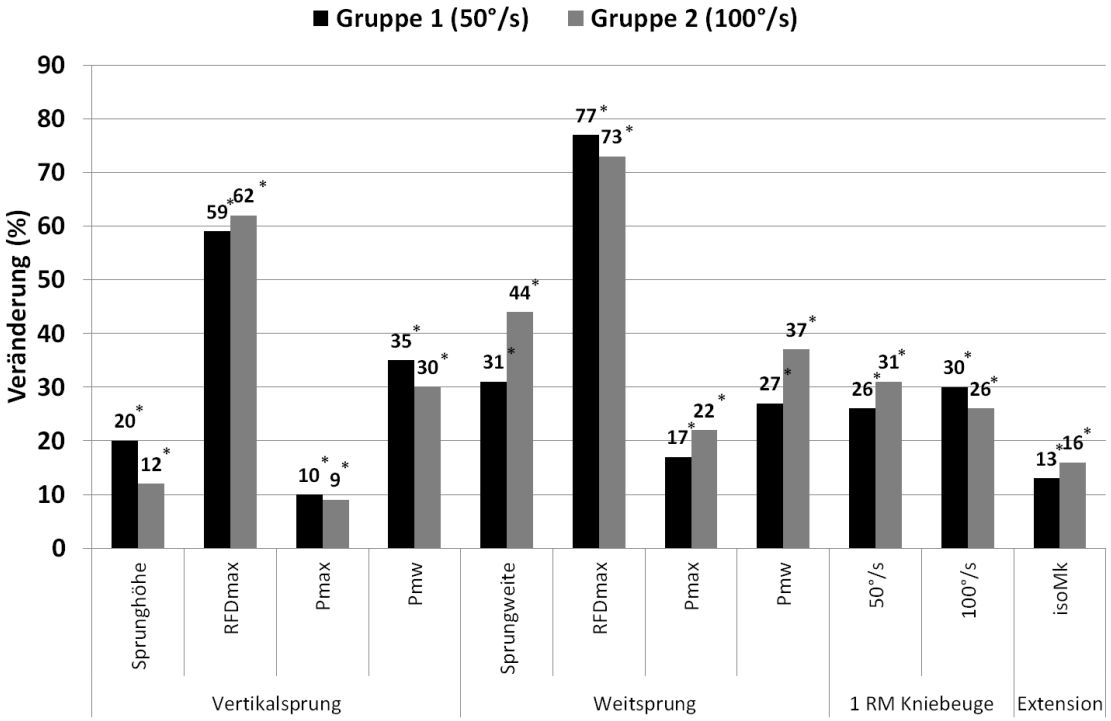

Abbildung 2-17: Prozentuale Veränderungen in den sportmotorischen Tests (*, signifikant höhere Werte im Vergleich zum Pre-Test (*p* ≤ .05); mod. nach Morrissey et al., 1998).

Ergänzende Auswertungen der Videoaufzeichnungen (inverse Kinematik) des Weitsprungs zeigten konsistent höhere Leistungswerte in Gruppe 2. Die größeren Sprungweiten in Gruppe 2 wurden durch höhere EMG-Werte der vorderen Oberschenkelmuskulatur gestützt. Im Vertikalsprung zeigte sich eine größere Sprunghöhe in der langsam trainierenden Gruppe. Diese wurde auf die höheren Drehmoment- und Leistungsverbesserungen im Kniegelenk zurückgeführt, da ein Großteil der betrachteten Variablen höhere Werte in Gruppe 2 aufwiesen. Möglicherweise benötigen die beiden Sprungformen für eine Leistungsoptimierung unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten im Krafttraining (vgl. Morrissey et al., 1998, p. 229). Die isokinetische Knieextension ließ signifikante Verbesserungen der Gruppe 2 erkennen (Abbildung 2-18). Diese traten sowohl bei höheren Testgeschwindigkeiten als auch bei geringeren, nicht dem Training entsprechenden, Testgeschwindigkeiten auf. Gruppe 1 zeigte bei langsamen Geschwindigkeiten statistisch unbedeutende Verbesserungen, ein Übertrag bei hohen Testgeschwindigkeiten war nicht zu erkennen. Die Verbesserungen im isokinetischen Test beider Gruppen wurden nicht von einer erhöhten elektrischen Aktivität der vorderen

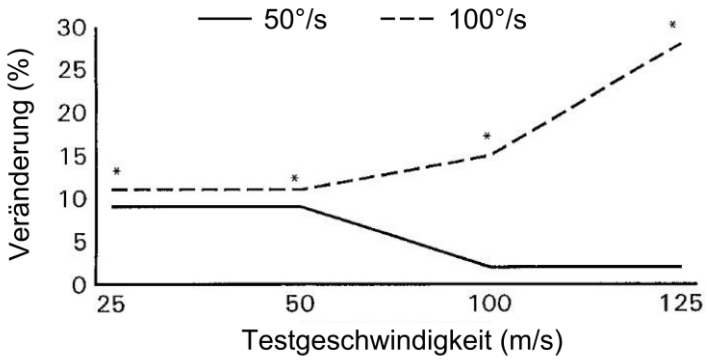

Abbildung 2-18: Mittlere prozentuale Veränderung der isokinetsichen Arbeit bei verschiedenen Testgeschwindigkeiten (*, signifikanter Unterschied zu Pre-Test (*p* ≤ .05); mod. nach Morrissey et al., 1998).

Oberschenkelmuskulatur begleitet. Somit wird der Grund für die beobachteten Anpassungen in der Querschnittszunahme der schnellen Muskelfasern vermutet, die jedoch nicht gemessen wurde. Die Autoren stellen zusammenfassend fest:

> Although both slow and fast training improved performance, faster training showed some advantages in quantity and magnitude of training effects. (Morrissey et al., 1998, p. 221)

Die Auswirkungen variierender Trainingsvolumina und Bewegungsausführungen über einen Zeitraum von 24 Wochen untersuchten Marx et al. (2001). 34 untrainierte Frauen (22-23 Jahre) führten 3 Mal pro Woche entweder ein Einsatz-Training (SST) oder ein Mehrsatz-Training (MST) durch bzw. dienten als Kontrollgruppe (KON):

- SST: 1 x 8-12 RM bis zum Punkt des momentanen Muskelversagen; Bewegungsausführung 2 sec. konz., 4 sec. exz.; 3 Ganzkörpertrainingseinheiten pro Woche mit je 10 unterschiedlichen Übungen; 1-2 min. Übungspause
- MST: 2-4 x 3-15 RM; Bewegungsausführung variierend, je nach Übung explosiv bis kontrolliert, 4 periodisierte Ganzkörpertrainingseinheiten pro Woche, 1-4 min. Satz- und Übungspause

Tabelle 2-7 zeigt die Veränderungen in den Krafttests nach 12 und 24 Wochen Training.

Tabelle 2-7: Kraftveränderungen im Verlauf eines 6-monatigen Krafttrainings (mod. nach Marx et al., 2001, p. 639).

Testübung	Zeitpunkt	SST (*n* = 12)	MST (*n* = 12)	KON (*n* = 10)
		M *SD*	*M* *SD*	*M* *SD*
Bench press 1 RM	T1	22.1 ± 1.6	21.8 ± 1.6	22.9 ± 4.3
	T2	24.8 ± 1.5 $_{a}$	26.9 ± 1.4 $_{a,c}$	23.3 ± 3.5
	T3	24.8 ± 1.6 $_{a}$	32 ± 2.7 $_{a,b,c}$	23.1 ± 3.8
Leg press 1 RM	T1	95.6 ± 7.8	95.5 ± 6.5	95.9 ± 6.6
	T2	103.6 ± 7.8 $_{a}$	115.5 ± 7.5 $_{a,c}$	95.9 ± 5.9
	T3	106.3 ± 7.8 a	126 ± 6.3 $_{a,b,c}$	95.7 ± 6.5
Bench press Wdh. 80% 1 RM	T1	9.6 ± 0.8	9.5 ± 0.5	10 ± 0.9
	T2	9.8 ± 0.8	10.8 ± 0.6 $_{a,c}$	9.8 ± 0.9
	T3	10.6 ± 1.4 $_{a}$	11.8 ± 1.2 $_{a,b,c}$	9.6 ± 0.7
Leg press Wdh. 80% 1 RM	T1	11.2 ± 1.3	11.3 ± 1.7	11.7 ± 1.5
	T2	13 ± 1.5 $_{a}$	15.2 ± 1.7 $_{a,c}$	11.4 ± 1.3
	T3	13.3 ± 1.4 $_{a}$	18.6 ± 2.2 $_{a,b,c}$	11.7 ± 0.9

$_{a}$, sig. Unterschied ($p \leq .05$) im Vergleich zu T1; $_{b}$, sig. Unterschied ($p \leq .05$) im Vergleich zu T2; $_{c}$, sig. Unterschied ($p \leq .05$) im Vergleich zu SST und KON; KON, Kontrollgruppe; MST, Mehrsatz-Trainingsgruppe; SST, Einsatz-Trainingsgruppe; T1, Pre-Test; T2, Mid-Test (12 Wochen); T3, Post-Test (24 Wochen); Wdh., Wiederholungen.

Die SST zeigt mit Ausnahme des Wiederholungstests Leg press zu T2 und T3 signifikant höhere Kraftwerte als zu Beginn des Trainings. Von T2 zu T3 verzeichnete die SST keine weiteren Kraftsteigerungen mehr, der zu Beginn erreichte Kraftzuwachs konnte konserviert werden. Die MST offenbarte für T2 und T3 durchgehend höhere Kraftwerte im Vergleich zu den Ausgangswerten. Darüber hinaus sind zu T3 signifikante Steigerungen im Vergleich zu T2 festzustellen. Im Vergleich zur SST und KON wiesen alle Testergebnisse der MST zu T2 und T3 statistisch

bedeutsam höhere Werte auf. Die Autoren sehen die Ergebnisse als Beleg für die Notwendigkeit höherer Trainingsvolumina und einer Trainingsperiodisierung im Hinblick auf langfristige Trainingsfortschritte an. Die unterschiedlichen Bewegungsausführungen im Sinne der Spannungsdauer werden bei der Interpretation der Ergebnisse nicht berücksichtigt.

Den Zusammenhang zwischen Satzzahl und Wiederholungsgeschwindigkeit betrachteten Munn, Herbert, Hancock und Gandevia (2005a) in einer 6-wöchigen Studie. Vier Gruppen trainierten mit unterschiedlichen Satzzahlen und Bewegungsausführungen den Ellbogenbeuger:

- Gruppe 1 set slow: 1 x 8 RM, 3 sec. konzentrisch, 3 sec. exzentrisch,
- Gruppe 3 sets slow: 3 x 8 RM, 3 sec. konzentrisch, 3 sec. exzentrisch,
- Gruppe 1 set fast: 1 x 8 RM, 1 sec. konzentrisch, 1 sec. exzentrisch,
- Gruppe 3 sets fast: 3 x 8 RM, 1 sec. konzentrisch, 1 sec. exzentrisch.

Als abhängige Variable wurde das 1 RM in der Ellbogenbeugung erhoben, das sich in allen Trainingsgruppen im Vergleich zum Pre-Test signifikant verbesserte (vgl. Abbildung 2-19).

Eine Regressionsanalyse zeigte signifikante größere Effekte ($p \leq .001$, 25%) für die Durchführung von 3 Sätzen gegenüber 1 Satz sowie für eine schnelle gegenüber einer langsamen Bewegungsausführung (11%).

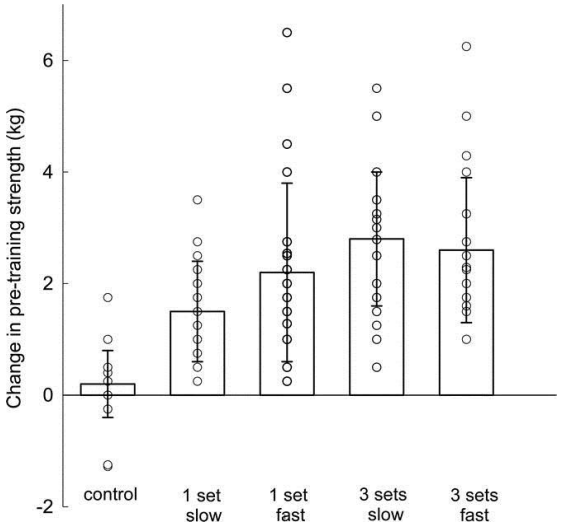

Abbildung 2-19: Strength changes for the elbow flexors (expressed in kilograms) for control and trained subjects following 6 wk of progressive resistance training. Data are group means and SD. Circles represent individual subjects (Munn et al., 2005a, p. 1624).

Eine weitere Studie, die unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten im Einsatz-Training untersuchte, stammt von Neils, Udermann, Brice, Winchester, und McGuigan (2005). Wie zuvor bei Keeler et al. (2001) wurde über 8 Wochen mit drei Trainingseinheiten pro Woche ein traditionelles Training (TR) mit einem Superslow (SS) verglichen. Die Trainingsübungen Bankdrücken, Bizeps Curl, Trizepsdrücken, Beinstrecken, Beincurl, Kniebeuge und Rudern aufrecht wurden mit 1 Satz bei einem 6-8 RM mit 80% bzw. 60% der Maximalkraft durchgeführt. Neben dem 1 RM Bankdrücken und Kniebeuge wurden die Sprunghöhe und die maximale Leistung (P_{max}) im Countermovement Jump (CMJ) und Squat Jump (SJ) erfasst. Im 1 RM zeigten beide Gruppen signifikante Kraftsteigerungen in beiden Testübungen ($p \leq .05$), Gruppenunterschiede waren nicht zu erkennen. Die P_{max} ließ eine signifikant größere Verbesserung im CMJ für die TR erkennen, der SJ offenbarte keine Gruppenunterschiede. Die Sprunghöhe wies keine bedeutsamen Verbesserungen innerhalb und zwischen den Gruppen auf (Abbildung 2-20).

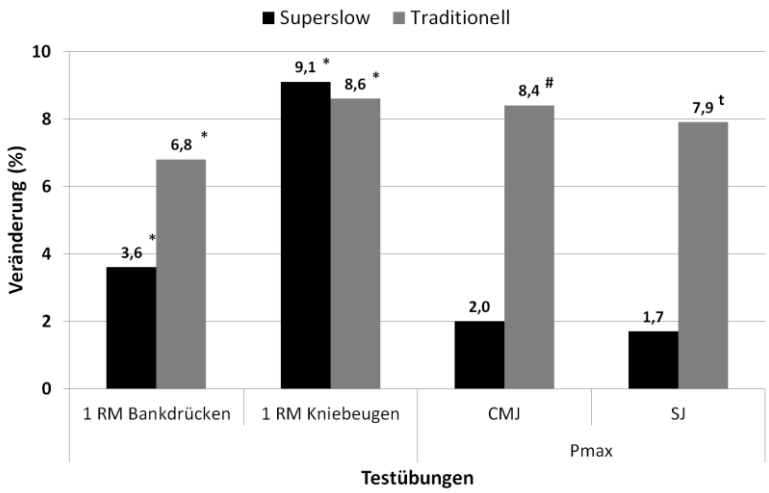

Abbildung 2-20: Prozentuale Veränderungen des 1 RM Bankdrücken und Kniebeugen sowie der maximalen Leistung im Countermovement Jump (CMJ) und Squat Jump (SJ) (*, sig. Unterschied Pre-Post ($p \leq .05$); #, sig. Gruppenunterschied ($p \leq .05$); t, tendenzieller Gruppenunterschied; mod. nach Neils et al., 2005).

Die größeren Verbesserungen der maximalen Leistung in der TR wurden auf die schnellere Bewegungsgeschwindigkeit zurückgeführt. Diese erlaubte zum einen höhere Trainingslasten und könnte während der exzentrischen Phase vermehrt schnelle Muskelfasern rekrutiert haben.

Palmieri (1987) konnte im Rahmen einer 10-wöchigen Trainingsstudie mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten keine Unterschiede hinsichtlich der Beinkraft (1 RM Kniebeuge) sowie der Sprunghöhe und muskulären Leistung beim Vertikalsprung (Lewis Formel) mit 54 untrainierten Männern (18-23 Jahre) zeigen. Das periodisierte Trainingsprogramm der 3 Gruppen (3 Trainingseinheiten pro Woche), bestehend aus Kniebeugen und Beinbeugen am Montag und Freitag sowie Beinstrecken und Wadenheben am Mittwoch, führte in den Gruppen zu signifikanten Kraftsteigerungen ($p \leq .05$):

- Gruppe 1: konzentrisch 2 sec., exzentrisch 4 sec.,
- Gruppe 2: konzentrisch 0.75 sec., exzentrisch 4 sec.,
- Gruppe 3: Woche 1-6 wie Gruppe 1, Woche 7-10 wie Gruppe 2.

Die Trainingsgewichte wurden durch Versuch und Irrtum herausgefunden und es ergaben sich der in Tabelle 2-8 dargestellte Belastungsumfänge und -progressionen für die Kniebeugen in den jeweiligen Gruppen. Zusätzlich wurde ein nicht weiter spezifiziertes Oberkörpertraining absolviert. Erklärungsansätze für die vorliegenden Ergebnisse wurden nicht gegeben.

Tabelle 2-8: Belastungsumfang und -progression für die Trainingsübung Kniebeugen (mod. nach Palmieri, 1987).

Woche	Gruppe 1 Satz x Wdh.	% 1 RM	Gruppe 2 Satz x Wdh.	% 1 RM	Gruppe 3 Satz x Wdh.	% 1 RM
			Pre-Test			
1	3 x 10	68	3 x 10	53	3 x 10	69
2	3 x 10	70	3 x 10	55	3 x 8	74
3	3 x 8	74	3 x 8	58	3 x 6	81
4	3 x 8	76	3 x 8	60	3 x 4	85
5	3 x 6	79	3 x 6	64	3 x 2	92
6	3 x 6	81	3 x 6	66	2 x 1	96
			Mid-Test			
7	3 x 4	85	3 x 6	69	3 x 10	56
8	3 x 3	89	3 x 4	72	3 x 8	60
9	3 x 2	93	3 x 4	74	3 x 6	68
10	2 x 1	97	3 x 4	75	3 x 4	74
			Post-Test			

Wdh., Wiederholungen.

Pereira und Gomes (2002; 2007) verglichen bei 14 größtenteils untrainierten Probanden (18-37 Jahre) eine langsame (25°/s) und schnelle (100°/s) Bewegungsausführung im Rahmen eines Ganzkörpertrainings. Es konnten keine signifikanten Interaktionen zwischen Kraft und Geschwindigkeit bei den Krafttests 1 RM (ohne Geschwindigkeitsvorgabe) und 8-10 RM (mit je 25°/s und 100°/s) in der Kniebeuge und im Bankdrücken festgestellt werden. Tendenziell wurden in beiden Gruppen bessere Testresultate im Bankdrücken mit einer Bewegungsgeschwindigkeit von 100°/s und in der Kniebeuge bei 25°/s erzielt (vgl. Abbildung 2-21).

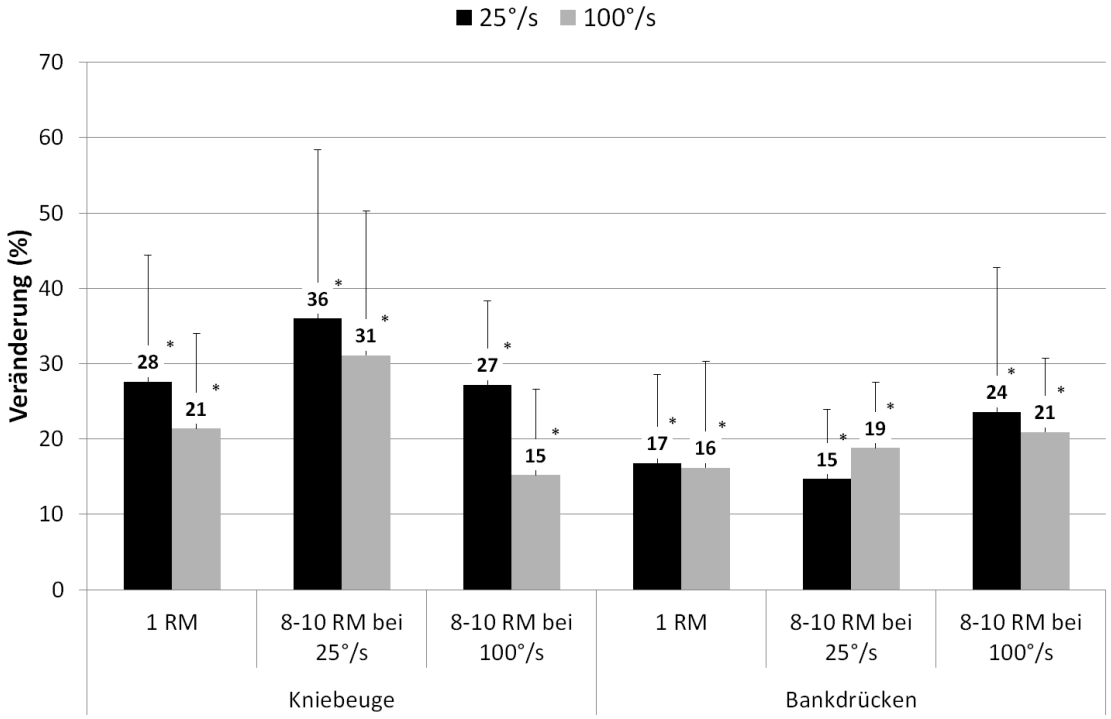

Abbildung 2-21: Ergebnisse der Maximalkraft- und Wiederholungstests bei den Testübungen Kniebeuge und Bankdrücken (*, signifikanter Haupteffekt Zeit ($p \leq .001$); mod. nach Pereira & Gomes, 2007).

Mögliche Erklärungsansätze für die vorliegenden Ergebnisse sehen die Autoren in einer Muskelquerschnittzunahme, metabolischen Veränderungen und neuromuskulären Anpassungen, die auf Basis von Studien mit isokinetischer Belastungsform diskutiert werden.

Westcott et al. (2001) stellen in ihrem Beitrag die Auswirkungen eines so genannten Superslow Krafttrainings (10 sec. konzentrische, 1 sec. isometrische, 4 sec. exzentrische Phase) im Vergleich zu einem regulären Krafttraining (2 sec. konzentrische, 4 sec. exzentrische Phase) auf die Maximalkraft (5 bzw. 10 RM) dar. An den beiden durchgeführten Studien nahmen 74 bzw. 73 Probanden im Alter zwischen 25 bis 82 Jahren teil. Alle Probanden trainierten einen 13 Stationen Nautiluszirkel mit 1 Trainingssatz bei 2-3 Trainingseinheiten pro Woche über 8 bzw. 10 Wochen. In Tabelle 2-9 sind die Veränderungen des 5 bzw. 10 RM bei allen 13 Trainingsübungen (Studie 1) bzw. der Brustpresse (Studie 2) dargestellt.

Westcott et al. (2001) konstatierten im Vergleich zu einer regulären Bewegungsgeschwindigkeit einen signifikanten höheren Effekt des Superslow Krafttrainings bei allen Maximalkrafttests.

> As noted previously, because the concentric muscle action is more demanding than the eccentric muscle action with a given resistance, it may be that the greater concentric emphasis of the Super-Slow® protocol provided a higher intensity training stimulus. Another explanation of the better results attained by the slow training participants may simply be the reduced role of momentum. (Westcott et al., 2001, p. 157)

Tabelle 2-9: Veränderungen in den Testübungen (mod. nach Westcott et al., 2001).

Parameter	*n*	Pre (kg)		Post (kg)		Post - Pre (kg)
		M	*SD*	*M*	*SD*	*M*
				Studie 1, Mittelwert aus 13 Übungen		
Regulär	39	20.5	6.8	28.5	8.5	8.0
Superslow	35	20.3	6.6	32.3	8.8	12.0*
				Studie 2, Übung Brustpresse		
Regulär	43	26.5	9.6	33.6	13.3	7.1
Superslow	30	25.0	10.7	35.9	13.1	10.9*

M, Mittelwert; *SD*, Standardabweichung; *, $p \leq .001$.

Anzumerken ist, dass beide Kontraktionsgeschwindigkeiten dieser Studie nach der Unterteilung von Pereira und Gomes (2003) als langsame Bewegungsausführungen einzustufen sind.

Tanimoto und Ishii (2006) ließen über einen Zeitraum von 12 Wochen (3 Trainingseinheiten pro Woche) 24 untrainierte Männer (19-20 Jahre) drei verschiedene Kniestreckprogramme mit 3 Sätzen à 8 Wiederholungen bei einer Satzpause von einer Minute durchführen:

- low intensity slow and tonic (LST, *n* = 8): ≈ 50% 1 RM, 3 sec. konz. und exz. Phase, 1 sec. Pause mit muskulärer Spannung an den Umkehrpunkten;
- high-intensity normal (HN, *n* = 8): ≈ 80% 1 RM, 1 sec. konz. und exz. Phase, 1 sec. Pause ohne muskuläre Spannung an den Umkehrpunkten;
- low-intensity normal (LN, *n* = 8): ≈ 50% 1 RM, 1 sec. konz. und exz. Phase, 1 sec. Pause ohne muskuläre Spannung an den Umkehrpunkten.

Mit Ausnahme des LN stellte das 8 RM in den anderen Gruppen den Punkt des momentanen Muskelversagens dar. Abbildung 2-22 stellt die Ergebnisse der Kraftmessung dar.

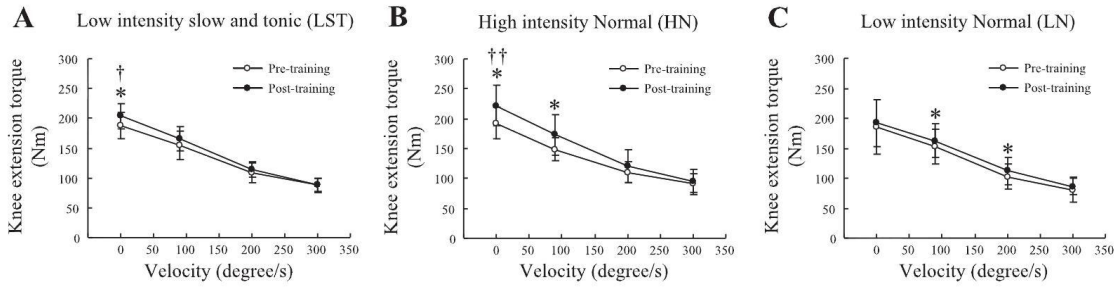

Abbildung 2-22: Effekte der 12-wöchigen Krafttrainingsprogramme auf die Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung (*, sig. Veränderung ($p < .05$) zwischen Pre- und Post-Test; †, Post-Test LST sig. höher ($p < .05$) als LN; ††, Post-Test HN sig. höher ($p < .05$) als LST und LN; mod. nach Tanimoto & Ishii, 2006, p. 1156).

Das LST zeigt eine signifikante Verbesserung ($p < .05$) der isometrischen Maximalkraft im Vergleich zum Pre-Test und zum LN im Post-Test. Das HN weist ebenfalls eine signifikante Verbesserung der isometrischen Maximalkraft sowie des maximalen Drehmoments bei 100°/s im Pre-Post-Vergleich auf. Darüber hinaus ist die isometrische Maximalkraft im Post-Test im Vergleich

zum LST und LN signifikant größer. Das LN verbessert im Post-Test das maximale Drehmoment bei 100°/s und 200°/s statistisch bedeutsam. Neben diesen Kraftverbesserungen offenbart das LST ebenso wie das HN eine signifikante Muskelquerschnittzunahme, die im LN nicht auftritt.

> The primary factors responsible for the effect of LST exercise would be the slow movement and tonic force generation, because the intensity and the amount of work for LST exercise were the same as those for LN exercise. (Tanimoto & Ishii, 2006, p. 1155)

In einer folgenden Studie verglichen Tanimoto et al. (2008) die Effekte eines LST und HN im Rahmen eines Ganzkörpertrainings unter Berücksichtigung einer Kontrollgruppe (CON) miteinander. Über 13 Wochen wurden 36 untrainierte Männer (19-20 Jahre) in drei Gruppen aufgeteilt und führten 5 Übungen mit jeweils 3 Sätzen à 8 Wiederholungen durch. Die Belastungscharakteristika der LST und HN sind weiter oben bereits beschrieben worden. Die Überprüfung der Maximalkraftveränderung erfolgte über die summierten 1 RM in allen 5 Trainingsübungen (Abbildung 2-23). Sowohl das LST als auch das HN führen zu signifikanten Verbesserungen vom Pre- zum Post-Test. In beiden Trainingsgruppen sind die Post-Testwerte statistisch bedeutsam höher als in der Kontrollgruppe. Die Begründung für die gleichwertigen Ergebnisse des LST ist bereits oben angeführt. Interessant ist der Hinweis der Autoren, dass die Bewegungsausführung nicht beliebig verlängert werden sollte, da sich ansonsten Intensität in % 1 RM so weit verringert, dass

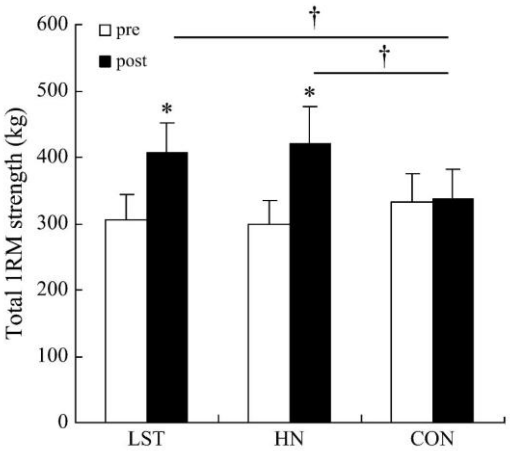

Abbildung 2-23: Summen der 1 RM Testergebnisse vor und nach dem Trainingszeitraum (*, sig. Unterschied (*p* < .05) Pre-Post-Training; †, sig. Unterschied (*p* < .05) zwischen den Gruppen; Tanimoto et al., 2008).

a) die Blutzufuhr im Muskel nicht mehr unterbunden ist und
b) die mechanische Arbeit zu gering wird (Tanimoto et al. 2008, p. 1937).

Die Tabellen 2-10 bis 2-12 zeigen einen zusammenfassenden Überblick der vorgestellten Studien mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten im auxotonischen Krafttraining. Die dargestellten Untersuchungen kommen zu unterschiedlichen und zum Teil widersprüchlichen Ergebnissen. Eng mit der Bewegungsgeschwindigkeit im Krafttraining ist ebenfalls die Diskussion über die Effekte eines so genannten Einsatz- und Mehrsatz-Trainings[4] verknüpft (vgl. Kapitel 2.3.5.3). Die Verlängerung der Spannungsdauer einer Wiederholung im Rahmen eines Einsatz-Trainings, d.h. eine Reduktion der Bewegungsgeschwindigkeit, ist ein charakteristisches Merkmal dieser Trainingsform (vgl. Kapitel 2.3.5.4).

[4] Zur Definitionsproblematik siehe Preuß, Goebel, Greiwing, Müller, Schischek, & Stephan, 2006.

Tabelle 2-10: Reizkonfigurationen und Anpassungen auxotonischer Krafttrainingsstudien mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten, Teil 1 (mod. und ergänzt nach Pereira & Gomes, 2003, p. 429).

Studie	Trainingsübung(en)	Bewegungs-ausführung	Studiendauer, Trainingsfrequenz	Probanden	Umfang, Dichte	Testübungen, -variablen	Ergebnisse
Gillies et al., 2006	Beinpresse, Parallel-kniebeuge, Bein-, Beinbeugen, Bankdrücken und 1 Übung aus Bizeps Curl, Latziehen, Rudern sitzend	LC) 6 sec. konz., 1 sec. Pause, 2 sec. exz. LE) 2 sec. konz., 1 sec. Pause, 6 sec. exz.	9 Woche 3 TE/Woche	28 trainierte Frauen (24 Jahre)	beide Gruppen: 2 x 6-8 RM, SP: 2.5 min.	Beinpresse: 1 RM konz. 1 RM exz. 1 RM konz.-exz.	beide Gruppen zeigen sig. ↑ in allen 3 Testübungen, keine Gruppenunterschiede
Gillies & Docherty, 1999	Ellbogenbeugung und -streckung	SS) konz. 8 sec., exz. 2 sec. ET) konz. 2 sec., exz. 2 sec.	8 Woche, 3 TE/Woche	21 trainierte Frauen	SS) 2 x 8 RM ET) 4 x 8 RM, k.A.	Maximalkraft Ellbogenbeugung und -streckung	beide Gruppen zeigen sig. ↑ in den Maimalkrafttests, keine Gruppenunterschiede
Haller, 2007	Knieextension Gerät	1) 3 sec. konz., 1 sec. exz. 2) 1 sec. konz., 3 sec. exz. 3) Kontrollgruppe	8 Woche, 3 TE/Woche	22 untrainerte Männer (14) und Frauen (8) (18-58 Jahre)	7 x 15 Wdh.: SP: 3 min.	isokinetisch: IsoMK bei 75° DM_{max} konz. bei 60°/s DM_{max} exz. bei 30°/s Gesamtarbeit bei 300°/s	sig. ↑ bei allen Tests innerhalb aller Trainingsgruppen; leicht erhöhte Trainingseffektivität der Gruppe 1
Keeler et al., 2001	Beinpresse, Beincurl, Beinstrecken, Latziehen, Brustpresse, Rudern, Bizeps Curl, Trizepsdrücken	TR) konz. 2 sec., exz. 4 sec. SS) konz. 10 sec., exz. 5sec.	10 Woche 3 TE/Woche	14 untrainierte Frauen (32 Jahre)	beide Gruppen 1 x 8-12 PmM TR) 80% 1 RM SS) 50% 1 RM ÜP: 60-90 sec.	1 RM bei Beinstrecken, Beincurl, Beinpresse, Brustpresse, Rudern, Bizeps Curl, Trizepsdrücken, Latziehen	sig. ↑ Pre-Post in beiden Gruppen; sig. größere Kraftsteigerungen in TR in den Übungen Beinpresse, Beincurl, Beinstrecken, Latziehen, Brustpresse
Marx et al., 2001	Ganzkörpertraining mit verschiedenen Übungen	SST) 2 sec. konz., 4 sec. exz. MST) explosiv bis kontrolliert	24 Woche SST) 3 TE/Woche MST) 4 TE/Woche	34 untrainierte Frauen (22-23 Jahre)	SST) 1 x 8-12 RM, ÜP: 1-2 min. MST)2-4 x 3-15 RM, SP und ÜP 1-4 min.	Beinpresse und Brustpresse: 1 RM max. Wdh. bei 80% 1 RM	SST: sig. ↑ von T2 und T3 gegenüber T1 MST: sig. ↑ von T2 und T3 gegenüber T1; sig. ↑ zu T2 und T3 gegenüber SST
Morrissey et al., 1998	Kniebeuge Freihantel	1) 50°/s 2) 100°/s	7 Woche 3 TE/Woche	24 untrainierte Frauen (24 Jahre)	1) 1x50%, 2x75% des 8 RM 2) 3x100% des 8 RM, k.A.	Kniebeuge: 1 RM bei 50 und 100°/s, Weit- und Vertikalsprung: Leistung, Gelenkmomente, Knieextension: isokinetische 25, 50, 100, 125°/s, $isoF_{max}$	keine Unterschiede bei $isoF_{max}$, 1 RM und Sprungkrafttest, sig. ↑ bei allen isokinetischen Testgeschwindigkeiten bei Gruppe 2, durchgehend höhere Gelenkmomente in den Sprüngen in Gruppe 2

↑, Verbesserung; DM_{max}, maximales Drehmoment; ET, Even Tempo; exz., exzentrisch; IsoMK, isometrische Maximalkraft; k.A., keine Angaben; konz., konzentrisch; LC, long concentric training group; LE, long eccentric training group; RPE, ratings of perceived exertion; SP, Satzpause; SS, Superslow; T1, Pre-Test; T2, Mid-Test; T3, Post-Test; TE, Trainingseinheiten; TR, Traditionelles Training; ÜP, Übungspause.

Tabelle 2-11: Reizkonfigurationen und Anpassungen auxotonischer Krafttrainingsstudien mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten, Teil 2 (mod. und ergänzt nach Pereira & Gomes, 2003, p. 429).

Studie	Trainingsübung(en)	Bewegungs-ausführung	Studiendauer, Trainingsfrequenz	Probanden	Umfang, Dichte	Testübungen, -variablen	Ergebnisse
Munn et al., 2005a	Ellbogenbeuger	1+3 sets slow) konz. 3 sec., exz. 3 sec. 1+3 sets fast) konz. 1 sec., exz. 1 sec.	6 Woche 3 TE/Woche	115 untrainierte Frauen (94) und Männer (21) (21 Jahre)	1 set slow) 1 x 8 RM 3 sets slow) 3 x 8 RM 1 set fast) 1 x 8 RM 3 sets fast) 3 x 8 RM, SP: 2 min.	1 RM Ellbogenbeugung	3 Sätze führen zu sig. größeren Kraft-steigerung ($p \leq .001$) als 1 Satz; schnelles Training führt zu sig. größeren Kraftsteigerungen ($p \leq .001$) als langsa-mes Training; Satzzahl x Wiederholungsgeschwindig-keit zeigt keine Interaktion
Neils et al., 2005	Bankdrücken, Bizeps Curl, Trizepsdrücken, Beinstrecken, Beincurl, Kniebeuge, Rudern aufrecht	TR) konz. 2 sec., exz. 4 sec. SS) konz. 10 sec., exz. 5 sec.	8 Woche 3 TE/Woche	18 trainierte Frauen und Männer (18-30 Jahre)	TR) 1 x 6-8 RM x 80% 1 RM SS) 1 x 6-8 RM x 60% 1 RM, ÜP: k.A.	1 RM Bankdrücken und Knie-beuge; CMJ, SJ: P_{max}, Sprunghöhe	1 RM: beide Gruppen sig. ↑, keine Gruppenunterschiede P_{max}: TR sig. größere ↑ im CMJ als SS, SJ keine Gruppenunterschiede Sprunghöhe keine bedeutsamen Ver-besserungen innerhalb und zwischen den Gruppen
Palmieri, 1987	Kniebeugen Freihantel, Beinbeugen, Beinstre-cken, Wadenheben Gerät, weitere Ober-körperübungen	1) 2 sec. konz., 4 sec. exz. 2) 0.75 sec. konz., 4 sec. exz. 3) Kombination aus 1) und 2)	10 Woche 3 TE/Woche	54 untrainierte Männer (18-23 Jahre)	variierend von 3 x 10x 68% 1 RM 2 x 1x 97% 1 RM, k.A.	1 RM Kniebeuge, Vertikalsprung: Sprunghöhe, muskuläre Leistung (Lewis Formel)	Innerhalb der Gruppen signifikante ↑ in allen Test, zwischen den Gruppen keine Unterschiede
Pereira & Gomes, 2002; Pereira & Gomes, 2007	Kniebeugen, Bankdrü-cken, 6 weitere Übun-gen	1) 25°/s 2) 100°/sec.	12 Woche 3 TE/Woche	14 größtenteils untrainierte Frauen und Männer (18-37 Jahre)	1 x 8-10 RM, ÜP 1 min.	Kniebeuge, Bankdrücken (Smith Maschine): 1 RM, 8-10 RM bei 25°/s und 100°/s	Innerhalb der Gruppen signifikante ↑ in allen Tests, zwischen den Gruppen keine Unterschiede
Tanimoto & Ishii, 2006	Kniestreckung	LST) 3 sec. konz./exz., iso. 1 sec. HN) 1 sec. konz./exz., 1 sec. Pause LN) 1 sec. konz./exz., 1 sec. Pause	12 Woche 3 TE/Woche	24 untrainierte Männer (19-20 Jahre)	LST) ≈ 50% 1 RM HN) ≈ 80% 1 RM LN) ≈ 50% 1 RM je 3 x 8 RM, SP: 60 sec.	Kniestreckung: isometrische Maximalkraft, maximales Drehmoment bei 100, 200 und 300°/s	LST):sig. ↑ isoMK und zur LN im Post-Test HN) sig. ↑ isoMK und DM_{max} bei 100°/s; sig. ↑ isoMK im Vergleich zur LST und LN LN) sig. ↑ DM_{max} bei 100, 200°/s

↑, Verbesserung; CON, Kontrollgruppe; DM_{max}, maximales Drehmoment; exz., exzentrisch; HN, high-intensity normal; iso., isometrisch; k.A., keine Angaben; konz., konzentrisch; LN, low-intensity normal; LST, low-intensity slow and tonic; SP, Satzpause; SS, Superslow; TE, Trainingseinheiten; TR, Traditionelles Training; ÜP, Übungspause.

Tabelle 2-12: Reizkonfigurationen und Anpassungen auxotonischer Krafttrainingsstudien mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten, Teil 3 (mod. und ergänzt nach Pereira & Gomes, 2003, p. 429).

Studie	Trainingsübung(en)	Bewegungs-ausführung	Studiendauer, Trainingsfrequenz	Probanden	Umfang, Dichte	Testübungen, -variablen	Ergebnisse
Tanimoto et al., 2008	Kniebeuge, Brustpresse, Latzug, Bauchpresse, Rumpfaufrichten	LST) 3 sec. konz./exz., iso. 1 sec. HN) 1 sec. konz./exz., 1 sec. Pause CON) Kontrollgruppe	13 Woche 2 TE/Woche	36 untrainierte Männer (19-20 Jahre)	LST) ≈ 50-60% 1 RM HN) ≈ 80-90% 1 RM je 3 x 8 RM, SP: 60 sec.	1 RM Kniebeuge, Brustpresse, Latzug, Bauchpresse, Rumpf-aufrichten	LST und HN: sig. ↑ 1 RM; sig. ↑ Post gegenüber CON
Westcott et al., 2001, Studie 1	Ganzkörper, 13 Übungen Nautilus	1) 10 sec. konz., 1 sec. iso., 4 sec. exz. 2) 2 sec. konz., 4 sec. exz.	8 Woche 2-3 TE/Woche	74 untrainierte Männer und Frauen (25-82 Jahre)	1) 1 x 4-6 RM mit 5 RM 2) 1 x 8-12 RM bei 10 RM, k. A.	1) 5 RM 2) 10 RM je alle 13 Trainingsübungen	sig. Verbesserungen in 1 und 2 in allen 13 Trainingsübungen, sig. höhere Kraftzuwächse von 1 gegenüber 2
Westcott et al., 2001, Studie 2	Ganzkörper 13 Übungen Nautilus	1) 10 sec. konz., 1 sec. iso., 4 sec. exz. 2) 2 sec. konz., 4 sec. exz.	10 Woche 2-3 TE/Woche	73 untrainierte Männer und Frauen (25-82 Jahre)	1) 1 x 4-6 RM mit 5 RM 2) 1 x 8-12 RM bei 10 RM, k. A.	1) 5 RM 2) 10 RM Brustpresse	sig. Verbesserungen in 1 und 2 bei der Brustpresse, sig. höhere Kraftzuwächse von 1 gegenüber 2

↑, Verbesserung; CON, Kontrollgruppe; exz., exzentrisch; HN, high-intensity normal; iso., isometrisch; k.A., keine Angaben; konz., konzentrisch; LST, low-intensity slow and tonic; SP, Satzpause; TE, Trainingseinheiten.

2.1.3 Hormonelle Reaktionen

Die Betrachtung unterschiedlicher Bewegungsgeschwindigkeiten im Krafttraining schließt in der vorliegenden Untersuchung die Erfassung hormoneller Auslenkungen von Testosteron (T), Cortisol (C), insulin-like growth factor (IGF-1) und Wachstumshormon (hGH) ein. Die als relevant identifizierten und in den Tabellen 2-2, 2-5, 2-6 und 2-10 bis 2-12 dargestellten Interventionsstudien haben mit Ausnahme der Studie von Gillies und Doherty (1999) keine hormonellen Auslenkungen betrachtet. Für die Einordnung hormoneller Reaktionen auf ein Hypertrophie-orientiertes Krafttraining werden im Folgenden lediglich Untersuchungen dargestellt, die einen hohen Bezug zu der hier untersuchten Problematik aufweisen. Hierbei wird auf eine explizite Unterteilung wie in den Kapiteln 2.1.1 und 2.1.2 verzichtet. Stattdessen erfolgt eine Unterteilung in akute hormonelle Auslenkungen und langfristige hormonelle Adaptationen.

Zu den intendiert-explosiven Kontraktionen gegen höhere Lasten liegen lediglich zwei Studien mit einem konkreten Hinweis auf eine intendiert-explosive Bewegungsausführung vor. Crewther, Cronin, Keogh und Cook (1988) ließen 11 Männer (26.6 ± 6.7 Jahre) mit mehr als zweijähriger Krafttrainingserfahrung drei unterschiedliche Belastungen bei zwei Kniebeugeübungen (Krafttrainingsmaschine und Smith-Maschine) in einer Querschnittuntersuchung durchführen:

- Power: 8 x 6 Wdh. x 45% 1 RM, 2 min. Satzpause, explosiv,
- Hypertrophie: 10 x 10 Wdh. x 75% 1 RM, 3 min. Satzpause, 1.5 sec. konz. und exz.,
- Maximalkraft: 6 x 4 Wdh x 88% 1 RM, 4 min. Satzpause, intendiert-explosiv.

Das Power- und Maximalkraftprotokoll wies ein identisches Trainingsvolumen (2160 % 1 RM bzw. 2112 % 1 RM) auf. Vor (Pre), zwischen den beiden Trainingsübungen (Mid) sowie 0, 15, 30, 45 und 60 Minuten nach der Belastung (P0, P15, P30, P45, P60) wurden T und C im Speichel bestimmt. Die Testosteronkonzentration im Speichel zeigte innerhalb des Hypertrophietrainings ab dem Abnahmezeitpunkt Mid signifikant ($p \leq .05$) höhere Werte im Vergleich zu Pre. Im Gruppenvergleich wies das Hypertrophietraining ebenfalls höhere Testosteronwerte nach Belastungsende auf. Für die Powertrainingsbedingung zeigte sich dieser Effekt für P15 und P60 gegenüber der Maximalkraftbedingung. Die Cortisolwerte zeigten ein ähnliches Verhalten mit signifikant höheren Werten unter Hypertrophietrainingsbedingungen zu den Zeitpunkten P15 bis P60 nach Belastungsende.

> The differing endocrine response patterns may be attributed to the volume of load lifted in each scheme (hypertrophy > power = maximal strength) over the same workout duration. The power and maximal strength hormone results also suggest that differences in load intensity, rest periods, and technique are secondary to volume. (Fleck & Kraemer, 1988, p. 253)

McCaulley et al. (2009) verglichen ähnliche Belastungskonfigurationen. 10 männliche Probanden (21.8 ± 1.9 Jahre) mit mehr als zwei Jahren Krafttrainingserfahrung absolvierten drei unterschiedliche Belastungsprotokolle mit identischem Trainingsvolumen bei jeweils schnellstmöglicher Bewegungsausführung in der Kniebeuge:

- Hypertrophie: 4 x 10 Wdh. x 75% 1 RM, 90 sec. Satzpause,
- Maximalkraft: 11 x 3 Wdh. x 90% 1 RM, 5 min. Satzpause,
- Power: 8 x 6 Wdh. x 0% 1 RM, 3 min. Satzpause.

Vor (Pre), direkt im Anschluss an das Training (IP) sowie 60 Minuten nach Belastungsende (P60) wurden die Auslenkungen von Testosteron und Cortisol bestimmt (vgl. Abbildung 2-24).

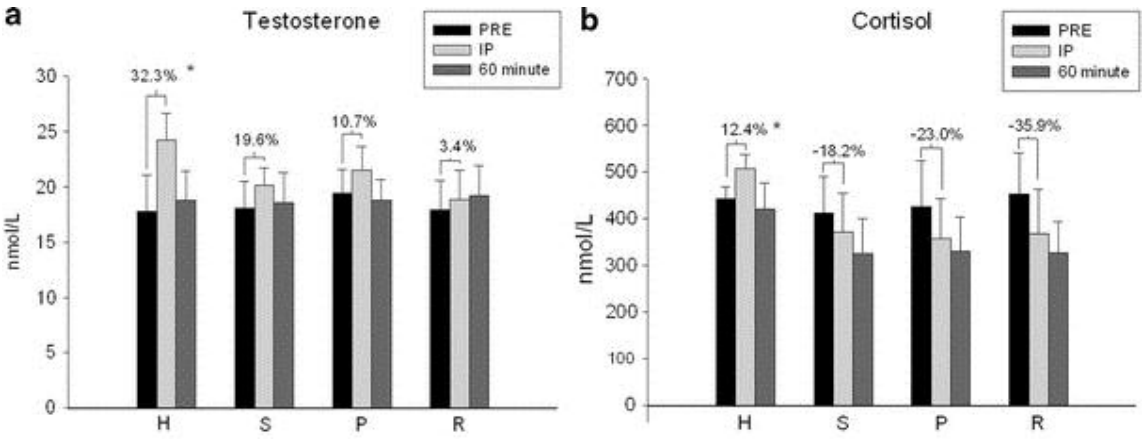

Abbildung 2-24: Vergleich der akuten Testosteron- (a) und Cortisolauslenkungen (b) vor und nach den verschiedenen Belastungsprotokollen (H, Hypertrophie-; S, Maximalkraft-; P, Power-; R, Kontrollbedingungen; PRE, vor Belastung; IP, direkt nach Belastung; 60 minute, 60 Minuten nach Belastung; *, signifikanter (*p* < .05) Unterschied zu R; McCaulley et al., 2009).

Das Hypertrophieprotokoll führte prozentual zu signifikant ($p < .05$) erhöhten Testosteron- und Cortisolwerten direkt nach der Belastung im Vergleich zu den Pre-Werten. Ebenfalls war hier ein signifikanter Unterschied ($p < .05$) zur Kontrollbedingung zu erkennen. Zwischen den drei Belastungsprotokollen waren keine statistisch bedeutsamen Unterschiede für alle Abnahmezeitpunkte zu erkennen. Unter Berücksichtigung des identischen Trainingsvolumens kommen die Autoren zu dem Schluss, dass

> total volume of RE completed is not the critical variable in eliciting the acute hormone response and may only represent a minimum threshold to be achieved. (McCaulley et al., 2009, p. 703)

Dieses Ergebnis widerspricht der Aussage von Crewther, Cronin, Keogh und Cook (2008), so dass eine weitergehende Betrachtung zur Klärung möglicher hormoneller Auslenkungen notwendig ist.

Weitere Studien zu einer explosiven Bewegungsausführung untersuchten geringere Trainingslasten (0-50% 1 RM, auch als Power-Training bezeichnet; Stone & Bordon, 1997; Volek, Kraemer, Bush, Incledon, & Boetes, 1997; Pullinen, Mero, MacDonald, Pakarinen, & Komi, 1998; Mero, Komi, Kyllönen, Pullinen, & Pakarinen, 1992) und konnten eine Erhöhung der akuten Testosteron- und Cortisolauslenkungen feststellen, wobei hGH und IGF-1 zumeist keine Veränderungen zeigten (Crewther, Cronin, & Keogh, 2006; Kraemer & Ratamess, 2005). Eine größere Zahl an Studien betrachtete die akuten hormonellen Auslenkungen Hypertrophie-orientierter (60-85% 1 RM) bzw. Maximalkraft-orientierter (85-95% 1 RM) Krafttrainingsprotokolle. Hierbei standen vornehmlich unterschiedliche Trainingsvolumina und Satzpausen im Fokus der Untersucher. Wie die folgende Auflistung zeigen wird, liegen hierbei Angaben zur Bewegungsausführung und -geschwindigkeit nur sporadisch vor.

Kraemer et al. (1990) führten eine umfangreiche Querschnittstudie zu unterschiedlichen Wiederholungszahlen (5 bzw. 10 RM) und Pausenzeiten (1 bzw. 3 min.) im Krafttraining mit 9 krafttrainingserfahrenen Männern (24.66 ± 4.27 Jahre) durch. Erfasst wurden die akuten

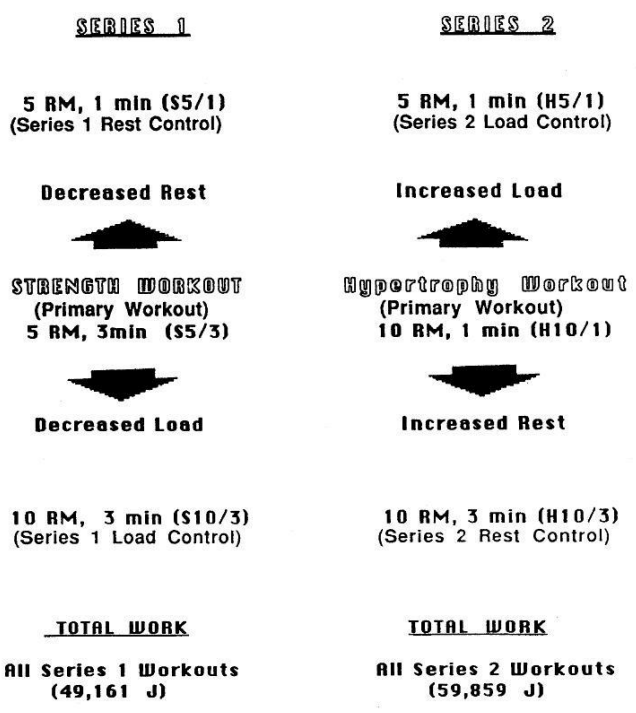

Abbildung 2-25: Experimentelles Design mit zwei Serien und jeweils drei Belastungskonfigurationen (Kraemer et al., 1990).

Auslenkungen von Testosteron, Wachstumshormon und IGF-1 vor dem Training (Pre), während des Trainings (Mid) sowie 0, 5, 15, 30, 60, 90 und 120 Minuten nach dem Training (P0, P5, P15, P30, P60, P90, P120). Das Ganzkörperkrafttraining bestand aus 8 Übungen und wurde an Krafttrainingsgeräten sowie mit Freihanteln durchgeführt. Die Belastungskonfiguration teilte sich in zwei Serien (Maximalkraft versus Hypertrophie) mit signifikant unterschiedlicher geleisteter Arbeit ein (vgl. Abbildung 2-25). Für die vorliegende Untersuchung sind lediglich folgende Belastungskonfigurationen 5/3 (3-5 Sätze x 5 RM, Satzpause 3 min.) und 10/3 (3 Sätze x 10 RM, Satzpause 3 min.) relevant. Alle untersuchten Krafttrainingsprogramme führten zu einem signifikanten Anstieg ($p \leq .05$) der absoluten Testosteronkonzentration zu variierenden Zeitpunkten im Vergleich zu den Werten vor Belastungsbeginn. Die so genannte Area under curve with respect to increase (AUC_i, zur Erläuterung s. Kapitel 3.8) unterschied sich zwischen den einzelnen Belastungsprotokollen nicht. Betrachtet man alle Testprotokolle, so ist ein Trend zu größeren Testosteronauslenkungen bei höheren Lasten (5 RM) zu erkennen.

Die Ausschüttung des hGH zeigte für die Belastungen 5/3 erhöhte Werte für Mid und P0; 5/1 offenbarte diese zu P0 und P5. Die Belastungskonfiguration 10/1 wies signifikant höhere Werte zu den Zeitpunkten Mid und P0-30 auf. Die AUC_i bei 10/1 war im Vergleich zu allen anderen Belastungskonfigurationen statistisch bedeutsam erhöht. Die Gesamtbetrachtung der einzelnen Belastungsprotokolle lies höhere hGH-Werte bei einer Verkürzung der Satzpause erkennen. Das IGF-1 wies in beiden Serien signifikant erhöhte temporale Auslenkungen für alle Belastungskonfigurationen zu variierenden Zeitpunkten auf. Unterschiede bezüglich der AUC_i sowie generelle Tendenzen der einzelnen Belastungsprotokolle waren nicht erkennbar.

In einer weiterführenden Studie untersuchten Kraemer et al. (1991) auf Basis der zuvor beschriebenen Studie die Auswirkungen des 5/3-Protokolls im Vergleich zum 10/1-Protokoll bei 8 männlichen (24.7 ± 4.5 Jahre) und weiblichen (23.1 ± 3.3 Jahre) krafttrainingserfahrenen Probanden. Im Folgenden werden nur die Auslenkung des Testosterons, hGH und IGF-1 der männlichen Studienteilnehmer dargestellt. Das Testosteron zeigte für beide Belastungsprotokolle signifikant ($p \leq .05$) höhere Werte zum Zeitpunkt Mid sowie P0, P5 und P15 nach Belastungsende, Unterschiede zwischen den Protokollen waren nicht festzustellen. Das hGH wies sowohl zu Mid als auch zu allen Zeitpunkten nach Belastungsende signifikant höhere Werte für das Protokoll 10/1 im Vergleich zur Belastungskonfiguration 5/3 auf. Innerhalb der jeweiligen Protokolle waren für das 5/3 höhere hGH-Werte zu Mid und P30 festzustellen, für 10/1 zu allen Abnahmezeitpunkten. Das IGF-1 wies keine Protokollunterschiede auf, die

Veränderungen über die Abnahmezeitpunkte variierten: 5/3 mit einem signifikanten Unterschied von Pre zu P0 und 10/1 mit einem signifikanten Unterschied von Pre zu Mid, P0 und P5.

1993 veröffentlichten Kraemer et al. (1993) die letzten Ergebnisse der oben vorgestellten Studie. Von Interesse ist für die vorliegende Untersuchung die Betrachtung der Veränderung der Cortisolwerte. Das 10/1 Protokoll führte zu signifikant höheren Cortisolwerten als alle anderen Protokolle, d.h. die Verlängerung der Satzpause wie auch die Erhöhung der Trainingslast führten zu einer Verringerung der Cortisolwerte. Auch innerhalb der Belastungsprotokolle zeigt das 10/1 Protokoll als einziges Protokoll eine Zunahme der Cortisolwerte von Pre zu Mid, P0, P5 und P15.

McMurray, Eubank und Hackney (1995) untersuchten bei 8 trainierten Gewichthebern (18-30 Jahre) die akuten hormonellen Auslenkungen (Testosteron, Cortisol, hGH) durch ein Muskelaufbautraining mit 6 Übungen à 3 Sätzen mit 6-8 Wiederholungen bei 80% 1 RM. Die Übungen wurden als Zirkeltraining durchgeführt, wobei sich Ober- und Unterkörperbelastungen abwechselten. Die Bestimmung der genannten Hormone erfolgte vor (Pre), während (Mid) und 0, 20, 40 und 60 Minuten nach der Belastung (P0, P20, P40, P60).

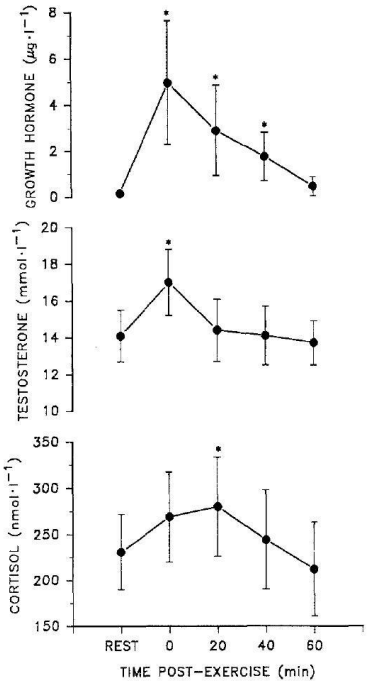

Abbildung 2-26: Akute hormonelle Auslenkungen von hGH, Testosteron und Cortisol nach dem Training (*, *p* < .05; McMurray, Eubank, & Hackney, 1995.)

Wie Abbildung 2-26 zeigt, führte ein Hypertrophie-orientiertes Zirkeltrainingsprogramm zu einer signifikanten Erhöhung des hGH zu den Abnahmezeitpunkten P0, P20 und P40. Das Testosteron wies direkt nach dem Training bedeutsam erhöhte Werte auf, das Cortisol zu P20.

Mulligan et al. (1996) betrachteten die akute Cortisol- und hGH-Auslenkung (Pre, 0, 15 und 30 Minuten nach dem Training) nach einem Einsatz- und Mehrsatz-Trainingsprotokoll bei 10 trainierten Frauen (24.1 ± 4.3 Jahre). Die Probandinnen führten 8 Übungen mit 1 Satz (SST) bzw. 3 Sätzen (MST) bei einem 10 RM mit einminütiger Übungs- und Satzpause durch. Das MST zeigte signifikant ($p \leq .05$) höhere Cortisol- und hGH-Auslenkungen für alle Abnahmezeitpunkte nach Belastung. Das SST offenbarte signifikant erhöhte Cortisolwerte 0 und 15 Minuten nach Belastungsende, die hGH-Werte waren 15 Minuten nach Belastungsende bedeutsam erhöht. Im Gruppenvergleich zeigte das MST signifikant ($p \leq .05$) höhere Cortisol- und hGH-Konzentrationen 0 und 15 Minuten nach Belastungsende. Die Autoren führten die höheren akuten hormonellen Reaktionen im MST auf das signifikant höhere Trainingsvolumen zurück.

Gotshalk et al. (1997) untersuchten bei 8 krafttrainingserfahrenen Männern (25.4 ± 4.14 Jahre) die akuten hormonellen Auslenkungen von Testosteron, Cortisol und hGH direkt nach (P0) sowie 5, 15, 30 und 60 Minuten (P5-60) nach einem Krafttraining. Das Ganzkörperkrafttraining bestand aus 8 Übungen mit 1 Satz (SST) bzw. 3 Sätzen (MST) bei einem 10 RM mit einer Minute Satz- und Übungspause. Das hGH war nach Belastungsende in beiden Gruppen zu allen Abnahmezeitpunkten signifikant erhöht ($p \leq .05$), wobei das MST signifikant höhere Werte als das SST zeigte. Die Testosteronkonzentration war im SST für P0 und P15 bedeutsam erhöht,

das MST zeigte eine bedeutsame Erhöhung für alle Abnahmezeitpunkte nach Belastungsende; zu P0-30 waren signifikant höhere Werte im MST gegenüber dem SST festzustellen. Die Cortisolausschüttung war im SST für P0-15, im MST für P0-30 signifikant erhöht, das MST wies bedeutsam höhere Werte für P5-30 gegenüber dem SST auf. Die Autoren führten die höheren akuten hormonellen Reaktionen in dem MST, wie zuvor von Mulligan et al. (1996) geäußert, auf das signifikant höhere Trainingsvolumen zurück.

Smilios, Piliandis, Karamouzis und Tokmakidis (2003) betrachteten die Auswirkungen unterschiedlicher Trainingsvolumina (2, 4 und 6 Sätze) im Rahmen eines Maximalkraft- bzw. Hypertrophietrainings (MS bzw. MH) auf die akuten Auslenkungen von Testosteron, Cortisol und hGH. 11 krafttrainingserfahrene Männer (23 ± 4 Jahre) nahmen an der Querschnittstudie teil. Es wurden vier Übungen (Bankdrücken, Latzug, Kniebeugen, Überkopfdrücken) mit folgenden Belastungsprotokollen untersucht:

- MS: 2 x 5 Wdh. x 88% 1 RM, 4 x 5 Wdh. x 88% 1 RM bzw. 6 x 5 Wdh. x 88% 1 RM, 3 min. Satzpause,
- MH: 2 x 10 Wdh. x 75% 1 RM, 4 x 10 Wdh. x 75% 1 RM bzw. 6 x 10 Wdh. x 75% 1 RM, 2 min. Satzpause.

Die Trainingsgewichte wurden im Verlauf der Sätze reduziert, um das Erreichen des jeweiligen RM sicherzustellen. Das Testosteron zeigte im Vergleich zum Ausgangswert lediglich für ein MH mit 4 x 10 Wdh. direkt nach dem Training (P0) signifikant erhöhte Werte ($p < .05$). Der P0 Testosteronwert wies über alle Belastungskonfigurationen einen bedeutsamen Unterschied zur Kontrollmessung unter Ruhebedingungen auf. Das hGH zeigte für beide Trainingsmethoden signifikant erhöhte Werte nach Belastungsende, die im MH höher ausfielen (Abbildung 2-27).

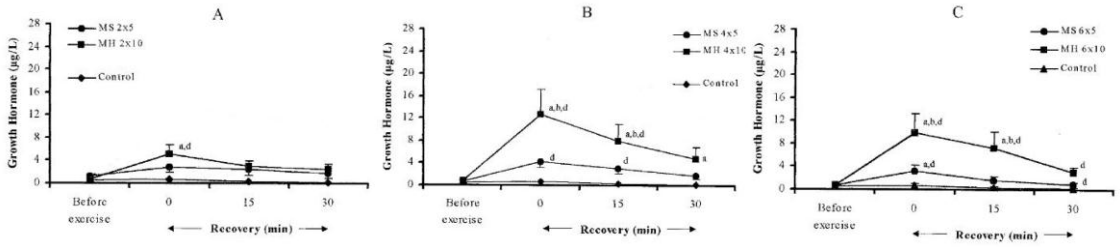

Abbildung 2-27: hGH-Konzentrationen nach einem Maximalkraft- (MS) und Hypertrophieprotokoll (MH) mit 2 (A), 4 (B) und 6 (C) Trainingssätzen sowie Kontrollbedingungen (a, *p* < .05 im Vergleich zur Kontrolle; b, *p* < .05 im Vergleich zu MS; d, *p* < .05 vom Pre-Wert; mod. nach Smilios et al., 2003).

Im Hinblick auf die Unterschiede zwischen den einzelnen Belastungskonfigurationen bei zwei Trainingssätzen offenbarte das MH im Vergleich zur Kontrollmessung bedeutsam erhöhte hGH-Werte zu P0. Die Betrachtung bei 4 Trainingssätzen pro Übung zeigte für das MH statistisch bedeutsam höhere Werte im Vergleich zur Kontrollsituation für P0, P15 und P30. Darüber hinaus waren die hGH-Auslenkungen zu P0 und P15 im Vergleich zu MS signifikant höher. Die MS-Protokolle hatten keinen Einfluss auf die Cortisolausschüttung. Die Cortisolausschüttung war bei 4 und 6 Sätzen im MH-Protokoll signifikant höher als bei 2 Sätzen und unter Kontrollbedingungen. Zwischen den beiden Protokollen zeigte das MH höhere Cortisolauslenkungen als das MS bei 4 und 6 Sätzen.

Zusammengefasst waren die hGH- und Cortisolauslenkung in einem Hypertrophie-orientierten Trainingsprotokoll mit 4 und 6 Sätze höher als bei einem Maximalkrafttraining. Allerdings

scheint es ein oberes Limit zu geben, über dem die Erhöhung des Trainingsvolumens zu keiner gesteigerten Hormonausschüttung mehr führt.

Eine weitere Untersuchung aus der Arbeitsgruppe um Tokmakidis verglich ebenfalls ein Maximalkraft- (MK) mit einem Hypertrophietrainingsprotokoll (MH) (Häkkinen, Komi, Alen, & Kauhanen, 1987). 10 junge und krafttrainingserfahrene Männer (22.8 ± 4.1 Jahre) absolvierten

- ein MK mit 4 Sätzen à 5 Wdh. bei 88% 1 RM mit 3 min. Satzpause bzw.
- ein MH mit 4 Sätzen à 10 Wdh. bei 75% 1 RM mit 2 min. Satzpause.

Die Trainingsübungen und die Belastungsgestaltung wurden bereits oben beschrieben, die Übungspause betrug 6 Minuten. Erfasst wurden die akuten Cortisol- und hGH-Auslenkungen zu Belastungsende (P0) und nach 30 Minuten (P30). Das MH-Protokoll zeigte nach der Belastung signifikant ($p < .05$) erhöhte Cortisol- und hGH-Werte im Vergleich zur Baseline, zur Kontrollsituation und zum MS-Protokoll. Im MS-Protokoll war lediglich eine statistisch bedeutsame Erhöhung des hGH zu P0 im Vergleich zur Baseline festzustellen. Diese Ergebnisse bestätigen die Aussagen von Smilios, Piliandis, Karamouzis und Tokmakidis (2003).

Ratamess et al. (2005) betrachteten die Auswirkungen von einem Satz (SS) bzw. 6 Sätzen (MS) Kniebeugen (10 RM) auf die akute Cortisol- und Testosteronkonzentration (0, 15, 30, 45 und 60 Minuten nach Belastungsende) sowie die Veränderung der Anzahl an Androgenrezeptoren im M. vastus lateralis (1 Stunde nach Belastungsende) bei 9 krafttrainingserfahrenen Männern (24.3 ± 4.4 Jahre). Das SS-Belastungsprotokoll führte 45 Minuten nach Belastungsende zu einer Verringerung der Testosteronkonzentration, die Cortisolausschüttung war 60 Minuten nach Belastung im Vergleich zur Baseline signifikant ($p < .05$) verringert. Das MS-Belastungsprotokoll zeigte für das Testosteron und Cortisol signifikant erhöhte Werte 0 bis 30 Minuten nach Belastung im Vergleich zur Baseline. Im Vergleich zum SS zeigten sich signifikante Unterschiede in der Testosteron- (0 bis 45 Minuten) und Cortisolauslenkung (0 bis 60 Minuten) nach der Belastung. Die unterschiedlichen akuten hormonellen Reaktionen wurden durch das höhere Trainingsvolumen im MS erklärt. Der Androgenrezeptorenbestand blieb vom SS unberührt, das MS führte zu einer signifikanten Verringerung. Diese kurzfristige Verringerung wurde durch den höheren Katabolismus in Folge eines hochvolumigen MS-Protokolls begründet.

Die Auswirkungen unterschiedlicher Bewegungsausführungen auf die akuten hormonellen Auslenkungen untersuchten Goto, Takahashi, Yamamoto und Takamatsu (2008). Sechs krafttrainingserfahrene Männer (24.3 ± 0.4 Jahre) absolvierten drei unterschiedliche Belastungsprotokolle mit 5 Sätzen à 10 Wiederholungen mit einer Minute Satzpause in der Kniestreckung bis zum Punkt des momentanen Muskelversagens:

- high-intensity, normal movement (HN): 1 sec. konz., 1 sec. exz.; 80% 1 RM,
- low-intensity, slow movement (LS): 3 sec. konz., 3 sec. exz.; 40% 1 RM,
- low-intensity, normal movement (LN): 1 sec. konz., 1 sec. exz.; 40% 1 RM.

Direkt nach der Belastung (P0) sowie 5, 15 und 30 Minuten nach Belastungsende (P5, 15, 30) wurden die hormonellen Auslenkungen von Testosteron, Cortisol und hGH bestimmt. Die hGH-Konzentration des LS zeigte signifikant ($p < .05$) erhöhte Werte nach Belastung, das HN und LN nicht (vgl. Abbildung 2-28). Die Testosteronkonzentration steigt ebenfalls nur im LS-Protokoll bedeutsam an. Für das Cortisol zeigte das LN eine signifikante Verringerung der Werte nach Belastungsende. Die Autoren führten die höhere akute hormonelle Auslenkung von hGH und Testosteron nach dem LS-Protokoll auf die höhere Akkumulation metabolischer Endprodukte zurück.

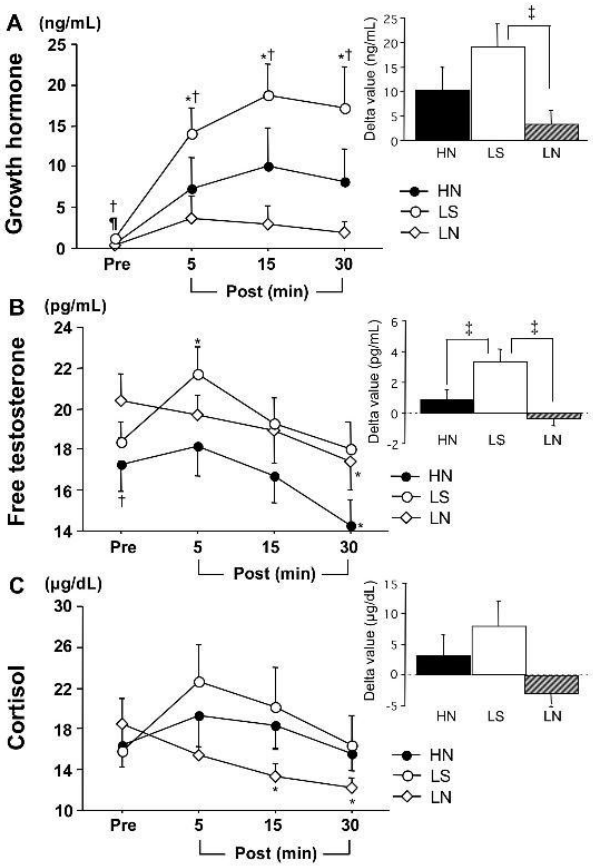

Abbildung 2-28: hGH-, Testosteron- und Cortisolkonzentrationen nach Belastung (*, $p < .05$; ¶, $p < .05$ zwischen LS und HN; †, $p < .05$ zwischen LS und LN; ‡, $p < .05$ zwischen den Protokollen; Goto et al., 2008, p. 12).

In einer weiteren Untersuchung betrachteten Goto et al. (2009) 4 unterschiedliche Belastungsprotokolle mit 4 Sätzen von 8-10 Wiederholungen (1 min. Satzpause) bis zum Punkt des momentanen Muskelversagens in der Kniestreckung bei 9 krafttrainingserfahrenen Männern (24 ± 0.2 Jahre):

- 5-1: 5 sec. konz., 1 sec. exz.; 50% 1 RM,
- 1-5: 1 sec. konz., 5 sec. exz.; 50% 1 RM,
- 3-3: 3 sec. konz., 3 sec. exz.; 50% 1 RM,
- 1-1: 1 sec. konz., 1 sec. exz.; 80% 1 RM.

Das Trainingsvolumen des Protokolls 1-1 war signifikant größer ($p < .05$) als in den anderen drei Gruppen. Betrachtet wurden die akuten hormonellen Auslenkungen von hGH, Testosteron und Cortisol direkt nach (P0), 15 und 30 Minuten nach Belastungsende (P15, 30). Wie die Abbildung 2-29 zeigt, wiesen alle Belastungsprotokolle mit Ausnahme des 1-1 ab P15 signifikant ($p < .05$) erhöhte hGH-Konzentrationen auf. Das Testosteron war direkt nach Belastungsende in allen Protokollen statistisch bedeutsam erhöht, 30 Minuten nach Belastungsende kam es bei 1-5 und 3-3 zu einer signifikanten Verringerung im Vergleich zum Pre-Wert. Zwischen den Belastungsprotokollen zeigten sich keine Unterschiede. Die Cortisolkonzentrationen stiegen nach 5-1, 1-5 und 3-3 signifikant an, wobei das Protokoll 5-1 bedeutsam höhere Werte als 1-5 und 1-1 aufwies.

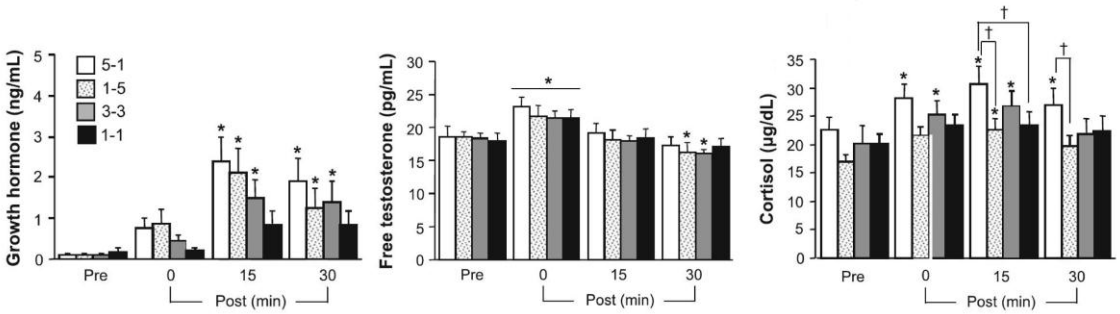

Abbildung 2-29: Akute hGH-, Testosteron- und Cortisolauslenkungen nach unterschiedlichen Belastungsprotokollen (*, *p* < .05 versus Pre; †, *p* < .05 zwischen den Protokollen; Goto et al., 2009).

Die Hypothese der Autoren, dass eine längere konzentrische Phase (5-1) zu höheren hormonellen Auslenkungen führt als exzentrische Belastungen (1-5), musste verworfen werden. Ein Grund könnte in dem höheren Trainingsvolumen des 1-5 Belastungsprotokolls (2490 ± 439 kg) gegenüber dem 5-1 Protokoll (2009 ± 254 kg) liegen. Als weiteren bedeutsamen Aspekt hoben die Autoren die geringere Cortisolauslenkung durch eine Verlängerung der exzentrischen Phase bei gleichen Testosteron- und hGH-Ausschüttungen hervor. Zusammengefasst könnte die Spannungsdauer einen bedeutenden Faktor für die hormonelle Reaktion bei Krafttrainingsbelastungen darstellen.

Die Tabelle 2-13 und Tabelle 2-14 fassen die wichtigsten Informationen der bisher angeführten Studien noch einmal tabellarisch zusammen.

Tabelle 2-13: Akute hormonelle Auslenkungen nach unterschiedlichen Krafttrainingsprotokollen bei Querschnittstudien, Teil 1.

Studie	Probanden	Übungen Satz x Wdh. x Intensität, Dichte	Bewegungsausführung	Hormone			
				Testosteron	Cortisol	IGF-1	hGH
Fleck & Kraemer, 1988	11 trainierte Männer (26 Jahre)	2 Übungen: Kniebeugen (Maschine, Smith Maschine) 1) 8 x 6 x 45% 1 RM, SP 2 min. 2) 10 x 10 x 75% 1 RM, SP 3 min. 3) 6 x 4 x 88% 1 RM, SP 4 min.	1) explosiv 2) 1.5 sec. konz., 1.5 sec. exz. 3) intendiert-explosiv	1) sig. ↑ als 3 zu P15,60; 2) sig. ↑ Mid, P0-P60; sig. ↑ als 1 und 3 zu P0-P45; sig. ↑ als 3 zu P60	2) sig. ↑ P0-P60; sig. ↑ als 1 und 3 zu P15-60 3) sig. ↓ zu P30-60	nicht untersucht	nicht untersucht
Goto et al., 2008	6 trainierte Männer (24 Jahre)	Kniestreckung HN) 5 x 10 Wdh. x 80% 1 RM (PmM) LS) 5 x 10 Wdh. x 40% 1 RM (PmM) LN) 5 x 10 Wdh. x 40% 1 RM (PmM) SP: 1 min.	HN) 1 sec. konz. und exz. LS) 3 sec. konz. und exz. LN) 1 sec. konz. und exz.	LS) sig. ↑	LN) sig. ↓	nicht untersucht	LS) sig. ↑
Goto et al., 2009	9 trainierte Männer (24 Jahre)	Kniestreckung 5-1) 4 x 8-10 Wdh. x 50% 1 RM (PmM) 1-5) 4 x 8-10 Wdh. x 50% 1 RM (PmM) 3-3) 4 x 8-10 Wdh. x 50% 1 RM (PmM) 1-1) 4 x 8-10 Wdh. x 80% 1 RM (PmM) SP: 1 min.	5-1) 5 sec. konz., 1 sec. exz. 1-5) 1 sec. konz., 5 sec. exz. 3-3) 3 sec. konz. und exz. 1-1) 1 sec. konz. und exz.	alle Gruppen) P0 sig. ↑; 1-5 und 3-3) P30 sig. ↓	5-1, 1-5, 3-3) sig. ↑; 5-1) sig. ↑ als 1-5 und 1-1 bei P15 sowie 1-5 bei P30	nicht untersucht	5-1, 1-5, 3-3) ab P15 sig. ↑
Gotshalk et al., 1997	8 trainierte Männer (25 Jahre)	8 Übungen, Ganzkörpertraining SST) 1 x 10 RM x k.A., ÜP 1 min. MST) 2 x 10 RM x k.A., SP und ÜP 1 min.	k.A.	SST) sig. ↑ zu P0, P15 MST) sig. ↑ zu P0-60; sig. ↑ als SST zu P0-30	SST) sig. ↑ für P0-P15 MST) sig. ↑ für P0-30; sig. ↑ als SST für P5-30	nicht untersucht	SST und MST) sig. ↑ für P0-60 MST) sig. ↑ als SST für P0-60
Kraemer et al., 1990	9 trainierte Männer (25 Jahre)	8 Übungen, Ganzkörpertraining 5/1) 3-5 x 5 RM x k.A., SP 1 min. 5/3) 3-5 x 5 RM x k.A., SP 3 min. 10/1) 3 x 10 RM x k.A, SP 1 min. 10/3) 3 x 10 RM x k.A., SP 3 min.	k.A.	alle) sig. ↑; keine Unterschiede in der AUC_i	nicht erfasst	alle) sig. ↑; keine Unterschiede in der AUC_i	5/3, 5/1, 10/1) sig. ↑; 10/1) sig. ↑ AUC_i zu allen anderen Protokollen
Kraemer et al., 1991	8 trainierte Männer (25 Jahre)	8 Übungen, Ganzkörpertraining 5/3) 3-5 x 5 RM x 80-95% 1 RM, SP 3 min. 10/1) 3 x 10 RM x 70-85% 1 RM, SP 1 min.	k.A.	alle) sig. ↑; keine Unterschiede zwischen 5/3 und 10/1	nicht untersucht	5/3) sig. ↑ Pre zu P0; 10/1) sig. ↑ Pre zu Mid, P0 und P5; keine Unterschiede zwischen 5/3 und 10/1	5/3) sig. ↑ Mid, P30 10/1) sig. ↑ alle Abnahmezeitpunkte 10/1) sig. ↑ als 5/3

↑, höhere Werte; AUC_i, area under curve with respect to increase; exz., exzentrisch; hGH, Wachstumshormon; HN, high-intensity, normal movement; IGF-1, insulin-like growth factor; k.A., keine Angaben; konz., konzentrisch; LS, low-intensity, slow movement; LS, low-intensity, normal movement; Mid, Mid-Test; MST, Mehrsatz-Training; P, Powerprotokoll; P0-60, 0-60 Minuten nach Belastungsende; PmM, Punkt des momentanen Muskelversagen; sig., signifikant; SP, Satzpause; SST, Einsatz-Training; Wdh., Wiederholungen; ÜP, Übungspause.

Tabelle 2-14: Akute hormonelle Auslenkungen nach unterschiedlichen Krafttrainingsprotokollen bei Querschnittstudien, Teil 2.

Studie	Probanden	Übungen Satz x Wdh. x Intensität, Dichte	Bewegungsausführung	Hormone			
				Testosteron	Cortisol	IGF-1	hGH
Kraemer et al., 1993	9 trainierte Männer (25 Jahre)	8 Übungen, Ganzkörpertraining 5/1) 3-5 x 5 RM x k.A., SP: 1 min. 5/3) 3-5 x 5 RM x k.A., SP: 3 min. 10/1) 3 x 10 RM x k.A., SP 1 min. 10/3) 3 x 10 RM x k.A., SP .3 min.	k.A.	nicht untersucht	10/1) sig. ↑ Pre zu Mid, P0, P5, P15; 10/1)sig. ↑ zu allen anderen Protokollen	nicht untersucht	nicht untersucht
McCaulley et al., 2009	10 trainierte Männer (22 Jahre)	1 Übung, Kniebeuge H) 4 x 10 x 75% 1 RM, SP: 90 sec. K) 11 x 3 x 90% 1 RM, SP: 5 min. P) 8 x 6 x 0% 1 RM, SP: 3 min.	in allen 3 Belastungsprotokollen so schnell wie möglich	H) sig. ↑ P0, P0 sig. ↑ zu KON; keine Gruppenunterschiede	H) sig. ↑ P0, P0 sig. ↑ zu KON Keine Gruppenunterschiede	nicht untersucht	nicht untersucht
McMurray et al., 1995	8 trainierte Männer (18-30 Jahre)	6 Übungen, Ganzkörperzirkeltraining 3 x 6-8 x 80% 1 RM	k.A.	sig. ↑ P0	sig. ↑ P20	nicht untersucht	sig. ↑ P0-P40
Mulligan et al., 1996	10 trainierte Frauen (24 Jahre)	8 Übungen, Ganzkörpertraining SST) 1 x 10 RM, ÜP: 1 min. MST) 2 x 10 RM, SP: 1 min.	k.A.	nicht untersucht	SST) sig. ↑ P0, 15 MST) sig. ↑ P0, 15,60 MST) sig. ↑ P0, 15 als SST	nicht untersucht	SST) sig. ↑ P15 MST) sig. ↑ P0, 15, 60 MST) sig. ↑ P0, 15 als SST
Ratamess et al., 2005	9 trainierte Männer (24 Jahre)	1 Übung, Kniebeuge SST) 1 x 10 RM x k.A. MST) 6 x 10 RM x k.A.	k.A.	SST) sig. ↓ P45 MST) sig. ↑ P0-30 MST) sig. ↑ vs. SST P0-45	SST) sig. ↓ P60 MST) sig. ↑ P0-30 MST) sig. ↑ vs. SST P0-60	nicht untersucht	nicht untersucht
Smilios et al., 2003	11 trainierte Männer (23 Jahre)	4 Übungen: Bankdrücken, Latzug, Kniebeuge, Überkopfdrücken MS) 2 x 5 x 88% 1 RM, 4 x 5 x 88% 1 RM bzw. 6 x 5 x 88% 1 RM, SP: 3 min. MH) 2 x 10 x 75% 1 RM, 4 x 10 x 75% 1 RM bzw. 6 x 10 x 75% 1 RM, SP: 2min.	k.A.	MH) 4 x 10 P0 sig. ↑ alle) P0 sig. ↑ vs. KON	MH) 4 und 6 Sätze sig. ↑ als bei 2 Sätzen und KON MH) sig. ↑ als MS bei 4 und 6 Sätzen	nicht untersucht	alle) sig. ↑ nach Belastung MH) bei 4 Sätzen sig. ↑ zu P0-P15 im Vergleich zu MS
Zafeiridis, Smilios, Considine, & Tokmakidis, 2003	10 trainierte Männer (23 Jahre)	4 Übungen: Bankdrücken, Latzug, Kniebeuge, Überkopfdrücken MS) 4 x 5 x 88% 1 RM, SP: 3 min. MH) 4 x 10 x 75% 1 RM, SP: 2 min. beide Gruppen: ÜP: 6 min.	k.A.	nicht untersucht	MH) sig. ↑ nach Belastung und im Vergleich zu KON und MS	nicht untersucht	MH) sig. ↑ nach Belastung und im Vergleich zu KON und MS MS) sig. ↑ zu P0

↑, höhere Werte; ↓, geringere Werte; exz., exzentrisch; H bzw. MH, Hypertrophieprotokoll; hGH, Wachstumshormon; IGF-1, insulin-like growth factor; k.A., keine Angaben; KON, Kontrollbedingungen; konz., konzentrisch; M bzw. MS, Maximalkraftprotokoll; MST, Mehrsatztraining; P, Powerprotokoll; P0-60, 0-60 Minuten nach Belastungsende; sig., signifikant; SP, Satzpause; SST, Einsatz-Training; ÜP, Übungspause.

Nachdem die akuten hormonellen Auslenkungen an unterschiedliche Belastungsprotokolle besprochen wurden, werden im Folgenden die akuten hormonellen Adaptationen im Verlauf von mehrwöchigen Krafttrainingsinterventionen betrachtet.

Ostrowski, Wilson, Weatherby, Murphy und Lyttle (1997) verglichen über 10 Wochen die Testosteron- und Cortisolanpassungen zwischen einem gering- (LVT), mittel- (MVT) und hochvolumigen (HVT) Krafttraining bei 27 krafttrainingserfahrenen Männern (23-24 Jahre). Die Probanden trainierten an vier Tagen pro Woche mit jeweils vier unterschiedlichen Trainingsprogrammen à 6 Übungen:

- LVT: 1 Satz pro Übung,
- MVT: 2 Sätze pro Übung,
- HVT: 4 Sätze pro Übung.

In den ersten vier Wochen wurden 12, in Woche 5 bis 7 sieben und in Woche 8 bis 10 neun Wiederholungen pro Satz bis zum Punkt des momentanen Muskelversagens durchgeführt. Die Satz- und Übungspause betrug drei Minuten. Aufgrund der großen Variabilität der Testosteron- und Cortisolkonzentrationen zeigten sich keine Unterschiede zwischen Pre- und Post-Test innerhalb und zwischen den Gruppen. Mit einer Zunahme des Trainingsvolumens sind jedoch eine Abnahme der basalen Testosteronkonzentration und eine Zunahme der basalen Cortisolkonzentration festzustellen. Dieses interpretierten die Autoren als ein Anzeichen für ein mögliches Übertraining.

McCall, Byrnes, Fleck, Dickinson und Kraemer (1999) untersuchten die Veränderungen der basalen Konzentration von Testosteron, Cortisol, IGF-1 und hGH im Rahmen eines 12-wöchigen hochvolumigen Krafttrainings (8 Übungen mit 3 x 10 RM, 1 min. Satzpause, 3 Mal pro Woche) bei 11 krafttrainingserfahrenen Männern (18-25 Jahre). Zwischen der Trainings- und Kontrollgruppe wurden weder vor noch nach der Untersuchungsphase Unterschiede in den Ruhekonzentrationen festgestellt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien (Craig, Brown, & Everhart, 1989; Häkkinen, Pakarinen, Alén, & Komi, 1985; Hickson, Hidaka, Foster, Falduto, & Chatterton, 1994; Kraemer, Patton, Gordon, Harman, Deschenes, Reynolds et al., 1995). Die Cortisolkonzentration verringerte sich um 16.7% in beiden Gruppen. Nach Ansicht der Autoren könnte dies a) auf einer verringerter Ängstlichkeit vor der zweiten Blutentnahme und b) auf saisonalen Einflüssen beruhen. Darüber hinaus wurden die akuten hormonellen Auslenkungen der oben genannten Parameter der zehnten und zwanzigsten Trainingseinheit miteinander verglichen. Hier zeigten sich ebenfalls keine Unterschiede in den akuten hormonellen Auslenkungen.

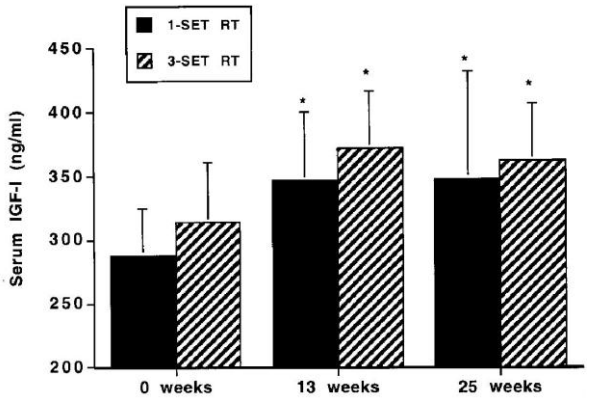

Abbildung 2-30: Effekt eines Einsatz- und Mehrsatz-Training auf das zirkulierende IGF-1 in den Wochen 0, 13 und 25 (*, sig. Unterschied (p < .05) zu Woche 0; n = 9-11; Borst et al., 2001).

Die Veränderungen der basalen IGF-1 Konzentration in Ruhe durch ein 25-wöchiges Krafttraining betrachteten Borst et al. (2001, vgl. Abbildung 2-30). 31 untrainierte Männer und Frauen zwischen 25 und 50 Jahren wurden einer Einsatz- (SST) bzw. Mehrsatz-Trainingsgruppe (MST) oder einer Kontrollgruppe zugeordnet.

Das Training bestand aus 7 Übungen, wobei die SST einen Satz mit 8-12 Wiederholungen bis zum Punkt des momentanen Muskelversagens ausführte, die MST drei Sätze. Die konzentrische Phase dauerte 2 sec., die exzentrische Phase 4 sec., die Übungs- und Satzpause wurde auf zwei Minuten festgelegt. Wie Abbildung 2-30 zeigt, kam es in beiden Gruppen zu signifikant erhöhten basalen IGF-1 Konzentrationen. Somit scheint ein Einsatz-Training mit langsamer Bewegungsausführung dieselben langfristigen IGF-1 Konzentrationen zu forcieren wie ein Mehrsatz-Training.

Die Untersuchung von Marx et al. (2001) wurde bereits in Kapitel 2.1.2 vorgestellt. An dieser Stelle werden die langfristigen hormonellen Veränderungen von Testosteron, Cortisol, IGF-1 und hGH durch ein Einsatz- (SST) und Mehrsatz-Training (MST) besprochen. Die Ruhewerte des Testosterons erhöhten sich in der SST signifikant ($p \leq .05$) von T1 zu T2, die MST zeigte signifikant höhere Werte im Vergleich von T1 zu T2 und von T2 zu T3. Darüber hinaus wies sie höhere Werte zu T2 und T3 im Vergleich zur SST und KON auf. Für das Cortisol offenbarten sich in der MST statistisch bedeutsam geringere Werte zu T2 und T3 im Vergleich zu T1 sowie zur SST und KON. Darüber hinaus fiel die Ruhekonzentration signifikant von T2 zu T3 ab. Das IGF-1 wies in der MST signifikant höhere Werte zu T2 und T3 im Vergleich zu T1 sowie zur SST und KON auf, die Ruhekonzentration von T2 zu T3 stieg ebenfalls statistisch bedeutsam. In der SST war zu T3 ein bedeutsam höherer Ruhewert im Vergleich zu T1 zu erkennen. Das hGH wies keine Veränderungen in den Ruhewerten auf. Die Autoren interpretierten die veränderten Ruhekonzentrationen als Beleg für die Notwendigkeit eines höheren Trainingsvolumens und einer Trainingsperiodisierung im Hinblick auf langfristige hormonelle Anpassungen im Sinne einer positiven Belastungsadaptation an Krafttrainingsreize. Diese Interpretation der Ergebnisse steht im Widerspruch zu der oben vorgestellten Studie von Borst et al (2001).

Ahtiainen, Pakarinen, Alen, Kraemer und Häkkinen (2003) untersuchten über einen Zeitraum von 21 Wochen je 8 krafttrainierte (KT, 34.4 ± 4.4 Jahre) und kraftuntrainierte (UT, 30.0 ± 6.5 Jahre) Männer. In den Wochen 0, 7, 14 und 21 wurden die basalen Konzentrationen von Testosteron und Cortisol erfasst. Das Trainingsprogramm bestand aus 6 Übungen mit 3-6 Sätzen à 6-15 Wiederholungen bei einer Intensität von 50-80% 1 RM, welche progressiv gesteigert wurde. Die Bewegungsausführung variierte entsprechend der Lasten. Die basalen Testosteron- und Cortisolkonzentrationen zeigten im Untersuchungsverlauf keine statistisch bedeutsamen Veränderungen.
Neben den basalen Konzentrationsveränderungen wurden zusätzlich in Woche 0 und 21 die akuten hormonellen Auslenkungen (Testosteron, Cortisol, hGH: Pre und 0, 15 sowie 30 Minuten nach Belastungsende) bei 5 Sätzen à 10 RM in der Beinpresse bestimmt. Bis auf eine signifikant ($p < .05$) niedrigere Testosteronausschüttung in der KT-Gruppe 30 Minuten nach Belastungsende in der 21. Woche und einer signifikant höherer hGH-Konzentration der KT gegenüber der UT 30 Minuten nach Belastungsende in der Woche 0 zeigten sich keine Veränderungen. Die Autoren leiteten aus diesen Ergebnissen ab, dass sich akute hormonelle Reaktionen im Verlauf eines Krafttrainings verändern, wobei die Trainingsintensität und das Trainingsvolumen individuell angepasst werden müssen.

Die Studie von Gillies, Putman und Bell (2006) wurde bereits in Kapitel 2.1.2 beschrieben. An dieser Stelle werden kurz die Veränderungen der akuten Cortisolauslenkung über 24 Stunden in Woche 1 und 9 der neunwöchigen Trainingsphase dargestellt.

Die konzentrisch langsam trainierende Gruppe (LC) zeigte in Woche 9 eine signifikant höhere Gesamtcortisolkonzentration als in Woche 1 sowie gegenüber der exzentrisch langsam trainierenden Gruppe (LE) in Woche 9. Das höhere Gesamtcortisol in der LC lieferte nach Aussage der Autoren einen indirekten Beweis für den höheren physiologischen Stress durch die langsame konzentrische Bewegungsausführung.

Tabelle 2-15 fasst die basalen und akuten hormonellen Auslenkungen nach unterschiedlichen Krafttrainingsprotokollen bei Längsschnittstudien zusammen.

Tabelle 2-15: Basale und akute hormonelle Auslenkungen nach unterschiedlichen Krafttrainingsprotokollen bei Längsschnittstudien.

Studie	Probanden	Übungen Satz x Wdh. x Intensität, Dichte	Bewegungsausführung	Hormone			
				Testosteron	Cortisol	IGF-1	hGH
Ahtiainen et al., 2003	8 trainierte, 8 untrainierte Männer (30-34 Jahre)	KT und UT9 6 Übungen, Ganzkörpertraining 3-6 x 6-15 x 50-80% 1 RM k.A.	entsprechend der Lasten variierend	basal: keine Veränderung akut: KT sig. ↓ P30 in Woche 21	basal und akut: keine Veränderung	nicht untersucht	basal: keine Veränderung akut: KT sig. ↑ als UT zu P30 in Woche 0
Borst et al., 2001	31 untrainierte Männer und Frauen (25-50 Jahre)	7 Übungen, Ganzkörpertraining SST) 1 x 8-12 RM MST) 3 x 8-12 RM SP/ÜP: 2 min.	beide Gruppen 2 sec. konz., 4 sec. exz.	nicht untersucht	nicht untersucht	SST und MST) T2 und T3 sig. ↑ zu T1	nicht untersucht
Gillies et al., 2006		6 Übungen, Ganzkörpertraining LC und LE) 2 x 6-8 RM, SP 2.5 min.	LC) 6 sec. konz., 1 sec. Pause, 2 sec. exz. LE) 2 sec. konz., 1 sec. Pause, 6 sec. exz.	nicht untersucht	akut: LC) in Woche 9 sig. ↑ als Woche 1 und LE	nicht untersucht	nicht untersucht
Marx et al., 2001	34 untrainierte Frauen (22-23 Jahre)	Ganzkörpertraining mit verschiedenen Übungen SST) 1 x 8-12 RM, ÜP 1-2 min. MST)2-4 x 3-15 RM, SP/ÜP: 1-4 min.	SST) 2 sec. konz., 4 sec. exz. MST) explosiv bis kontrolliert	SST) T2 sig. ↑ MST) T2 und T3 sig. ↑; T2 und T3 sig. ↑ als SST und KON	MST) sig. ↓ zu T2 und T3; T3 sig. ↓ als T2; sig. ↓ zu T2 und T3 als SST und KON	SST) T3 sig. ↑ zu T1 MST) sig. ↑ zu T2 und T3; T3 sig. ↑ als T2; sig. ↑ zu T2 und T3 als SST und KON	keine Veränderungen
McCall et al., 1999	11 trainierte Männer (18-25 Jahre)	8 Übungen, Ganzkörperkrafttraining 3 x 10 RM SP/ÜP: 1 min.	k.A.	basal und akut: keine Veränderungen	basal und akut: keine Veränderungen	nicht untersucht	nicht untersucht
Ostrowski et al., 1997	27 trainierte Männer (23-24 Jahre)	je 6 Übungen, Ganzkörpertraining LVT) 1 x 7-12 RM, SP: 3 min. MVT) 2 x 7-12 RM, SP/ÜP: 3 min. HVT) 4 x 7-12 RM, SP/ÜP: 3 min.	k.A.	keine Veränderungen	keine Veränderungen	nicht untersucht	nicht untersucht

↑, höhere Werte; ↓, geringere Werte; exz., exzentrisch; hGH, Wachstumshormon; HVT, high volume training; IGF-1, insulin-like growth factor; k.A., keine Angaben; KON, Kontrollbedingungen; konz., konzentrisch; KT, krafttrainingserfahrene Probanden; LC, long concentric training group; LE, long eccentric training group; LVT, low volume training; MST, Mehrsatz-Training; MVT, moderate volume training; P, Powerprotokoll; P30, 30 Minuten nach Belastungsende; sig., signifikant; SP, Satzpause; SST, Einsatz-Training; T1, Pre-Test; T2, Mid-Test; T3, Post-Test; ÜP, Übungspause; UT, krafttrainingsunerfahrene Probanden.

2.1.4 Fazit der Interventionsstudien

Zahlreiche Studien zum auxotonischen Krafttraining haben die Auswirkungen variierender Gewichtsbelastungen auf die muskuläre Leistung (Cronin & Sleivert, 2005) und/oder Geschwindigkeiten (Morrissey, Harman, & Johnson, 1995; Behm & Sale, 1993b) betrachtet. Eine zusammenfassende Betrachtung der vorgestellten Studien lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

1. Die klassische Theorie der Geschwindigkeitsspezifität, basierend auf isokinetisch gewonnenen Forschungsergebnissen (vgl. Dvir, 2004; Brown & Brown, 2000; Morrissey et al., 1995; Baltzopoulos & Brodie, 1989; Bell & Wenger, 1992), ist nicht zwangsläufig auf ein auxotonisches Krafttraining übertragbar (Pereira & Gomes, 2003).
2. Sowohl die Intention, ein Gewicht explosiv zu bewegen, als auch die erreichte Bewegungsgeschwindigkeit sind wichtige neuromuskuläre Stimuli (Jones et al., 2001).
3. Ein weites Spektrum an Trainingslasten kann bei explosiver bzw. explosiv-intendierter Bewegungsausführung zu einer Verbesserung der Schnellkraftleistung führen (Harris et al., 2000; Kawamori & Newton, 2006).
4. Eine Reduzierung der Bewegungsgeschwindigkeit kann trotz reduzierter Last durch die höhere metabolische Belastung bei adäquat reduzierter Reizhöhe zu äquivalenten Kraft- und Hypertrophieeffekten führen (Tanimoto & Ishii, 2006; Tanimoto et al., 2008; Goto et al., 2009; Goto et al., 2008).

Dugan et al. (2004) weisen zusätzlich darauf hin, dass die optimale Last im Schnellkrafttraining von der Maximalkraft der Trainierenden abhängt (vgl. auch Cronin & Sleivert, 2005; Gamble, 2006). Ferner variiert die Last für eine maximale mechanische Leistung übungsabhängig und geschlechtsspezifisch (Thomas, Kraemer, Spiering, Volek, Anderson, & Maresh, 2007).

Das American College of Sports Medicine (2009, p. 696) gibt zum Power- bzw. Schnellkrafttraining folgende Empfehlung (evidence category A, randomized control trial [RCT]):

a) 1-3 Sätze pro Übung
b) 30-60% 1 RM (Oberkörper), 0[5]-60% 1 RM (Unterkörper)
c) 3-6 Wiederholungen

Für olympische Hebeübungen (Reißen, Stoßen) liegt die maximale mechanische Leistung zwischen 70-80% 1 RM. Um die Kraftkomponente der Leistung zu verbessern, werden 85-100% 1 RM empfohlen, die Verbesserung der Kraftentwicklung orientiert sich an den unter b) genannten Lasten.

Es bleibt an dieser Stelle festzuhalten, dass die Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung – von dieser Methode scheinen Behm und Sale (1993a) auszugehen, wenn sie von einem zukünftigen Anwendungsfeld mit einer Hypertrophiewirkung sprechen – je nach Kontraktionsgeschwindigkeit zu Schnellkraftverbesserungen führen könnte.

Im Hinblick auf die hormonellen Auslenkungen eines intendiert-explosiven Krafttrainings nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung lässt sich feststellen, dass die Literaturrecherche keine Primärstudien identifizieren konnte, die sich explizit mit dieser Thematik befasst haben. Ein Grund hierfür könnte in den unzureichenden Informationen über

[5] Z.B. Sprünge mit dem eigenen Körpergewicht, d.h. 0% Zusatzlast.

die Bewegungsausführung zu finden sein, wie die Angaben in den Tabellen 2-13 bis 2-15 verdeutlichen. Folglich wurde auf weitere Studien zum Hypertrophie- und Maximalkrafttraining zurückgegriffen. Die zusammenfassende Betrachtung der in Kapitel 2.1.3 vorgestellten Studien lässt weitere Schlussfolgerungen zu:

1. Die Auswirkungen unterschiedlicher Trainingsvolumina im Hinblick auf die akuten hormonellen Auslenkungen nach Krafttrainingsreizen scheinen unklar (McCaulley et al., 2009; Goto et al., 2009), da
2. unter anderem die metabolischen Belastungen in Form unterschiedlicher Bewegungsausführungen einen Einfluss auf die akuten hormonellen Auslenkungen nach Krafttrainingsreizen haben (Goto et al., 2009; Gillies et al., 2006).
3. Eindeutig festzustellen ist, dass eine Vielzahl von Belastungskonfigurationen zu einer akuten hormonellen Auslenkung im Anschluss an ein Krafttraining führen.
4. Akute hormonelle Reaktionen können sich im Verlauf eines Krafttrainings verändern, wobei interindividuelle Unterschiede (z.B. Trainingszustand) berücksichtigt werden müssen (Ahtiainen, Pakarinen, Kraemer, & Hakkinen, 2003).

Darüber hinaus haben die eingesetzte Muskelmasse, die Trainingsintensität, die Pausendauer zwischen den Sätzen und Übungen einen Einfluss auf die hormonellen Reaktionen (Fleck & Kraemer, 2004).

Die folgenden Kapitel werden ausgehend von dem Begriff der Kraft die möglichen Adaptationsmechanismen im Krafttraining unter besonderer Berücksichtigung der intendiert-explosiven Kontraktionen sowie unterschiedlicher Bewegungsausführungen aufzeigen. Ferner werden die Mechanismen der hormonellen Reaktionen vertiefend betrachtet.

2.2 Der Begriff der Kraft

> Bei der Kraft kommt es häufig zu Missverständnissen in Bezug auf die Terminologie. Die Ursache liegt in den verschiedenen Betrachtungsweisen des Phänomens Kraft. (Hohmann & Lames, 2007, S. 66)

Physikalisch betrachtet kann Kraft anhand der newtonschen Axiome beschrieben werden, die nicht ohne weiteres auf den kraftgenerierenden, biologischen Bereich übertragen werden können. Um zu einer eindeutigen naturwissenschaftlichen Formulierung zu gelangen, empfehlen Hollmann und Strüder (2009, S. 169) eine Operationalisierung über den Weg der Meßbarkeit der jeweils bedeutsamen Erscheinungsform der Kraft. Zur Vereinheitlichung unterteilen sie die vom Muskel durch Spannung entwickelte Kraft in folgende Hauptbeanspruchungsformen (vgl. Abbildung 2-31).

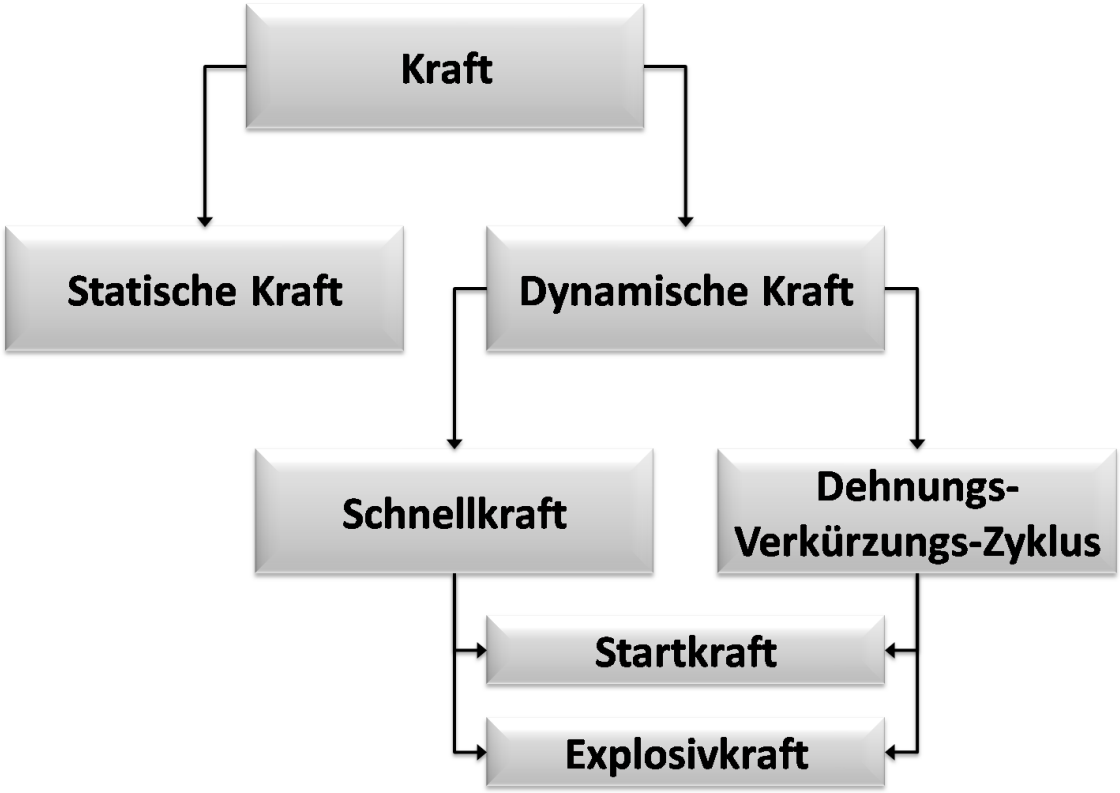

Abbildung 2-31: Hauptbeanspruchungsformen der Kraft (mod. nach Hollmann et al., 2009, S. 169).

Ein Muskel kann unter statischen und dynamischen (konzentrisch und/oder exzentrisch) Bedingungen, in Abhängigkeit seiner Ausgangslänge, Kraft erzeugen. Dynamische Muskelaktionen sind weiterhin durch ihre Geschwindigkeit gekennzeichnet.

> Therefore, strength is not the result of an assessment performed under a single set of conditions. Because of the number of variables or conditions involved, strength of a muscle or muscle group must be defined as the maximal force generated at a specified or determined velocity. (Knuttgen & Komi, 2003, p. 6)

Es gilt zu beachten, dass eine Kraftdiagnose von Bewegungen letztendlich nur den Nettobetrag der metabolischen und neuronalen Prozesse abschätzen kann (Gollhofer, Gruber, & Bruhn, 2003, S. 78).

Basierend auf den physiologischen und morphologischen Einflussgrößen der Kraft, hat die „Freiburger Gruppe“ in den 1970er und 1980er Jahren eine Strukturierung der Kraftfähigkeiten aufgrund ihrer dimensionalen Struktur entwickelt (vgl. Abbildung 2-32).

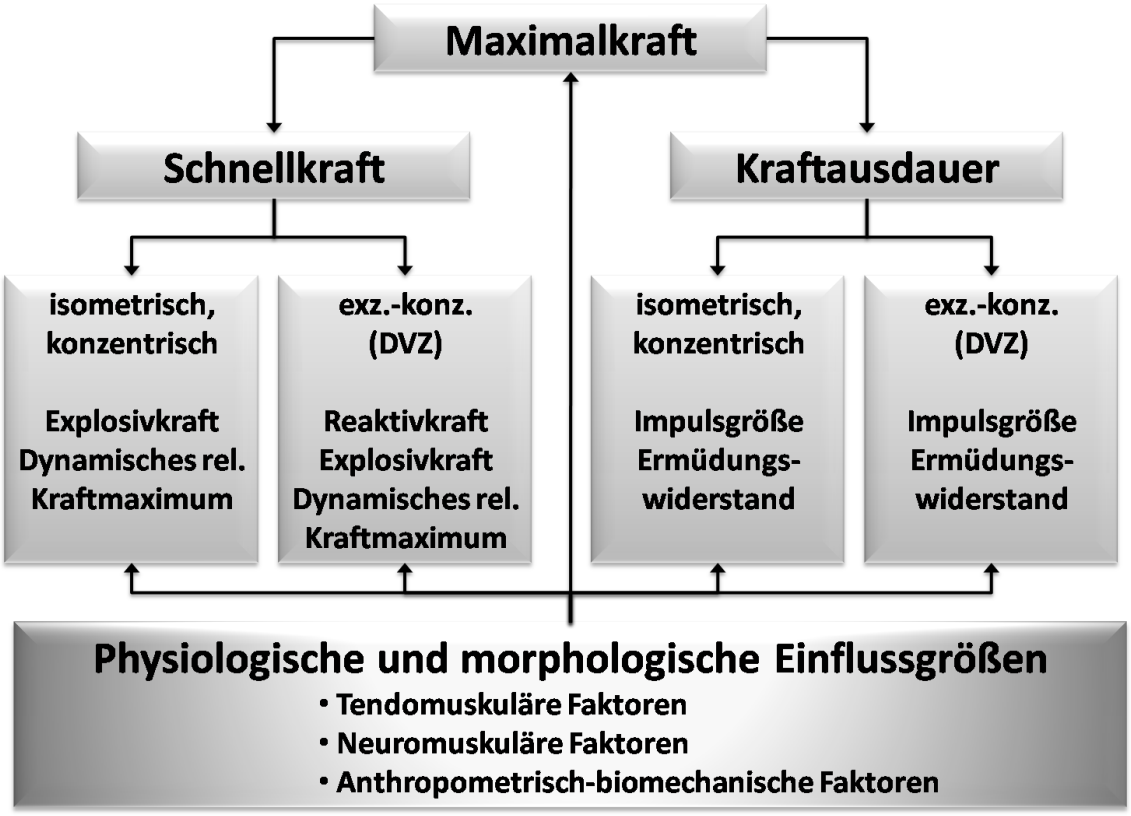

Abbildung 2-32: Struktur der motorischen Eigenschaft Kraft (DVZ, Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus; mod. nach Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 224).

Die ursprünglich aus der Trainingspraxis stammende Unterteilung in Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer wurde dahingehend erweitert, dass die Maximalkraft die Basisfähigkeit für die Schnellkraft und Kraftausdauer bildet (Schmidtbleicher, 2003, S. 16–17).

> Unter Maximalkraft wird die höchste Kraft verstanden, die das neuromuskuläre System bei einer maximalen willkürlichen Kontraktion entfalten kann. (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 224)

Entsprechend des Themas der vorliegenden Arbeit wird der relevante Bereich der Schnellkraft weiterführend behandelt.

2.2.1 Schnellkraft und muskuläre Leistung

In Anlehnung an dem in Abbildung 2-32 dargestellten dimensionsanalytischen Modell der Kraft wird Schnellkraft wie folgt definiert: „Schnellkraft ist die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, einen möglichst großen Impuls (Kraftstoß) innerhalb einer verfügbaren Zeit zu entfalten“ (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 225).

Formel 2-1: Impuls (Bührle 1985, S. 103).

$$I(N \cdot s) = \int_{t_1}^{t_2} F dt,$$

Der Impuls ist dabei durch die Steilheit des Kraftanstieges, das realisierte Kraftmaximum und die Impulsdauer gekennzeichnet. Die alleinige Betrachtung des Impulses als Fläche unterhalb einer Kraft-Zeit-Kurve ist oftmals als Beschreibungsgröße der Schnellkraft unzureichend, da in vielen sportlichen Disziplinen nur eine begrenzte Zeit zur Realisation einer Schnellkraftleistung zur Verfügung steht.

Müller (1987, S. 132) konkretisiert den notwendigen Krafteinsatz hinsichtlich der Zielsetzung: Die Aufgabe, eine maximale Geschwindigkeit zu erreichen, erfordert einen anders abgestimmten Krafteinsatz als das Ziel, eine vorgegebene Strecke in minimaler Zeit zurückzulegen. Beim erstgenannten Ziel kann der Krafteinsatz zu Beginn der Bewegung etwas verhaltener erfolgen, wichtiger ist dann der maximale Einsatz gegen Ende der Kontraktion. Die Folge ist dabei eine etwas verlängerte Bewegungszeit. Bei der Vorgabe der minimalen Zeit muss von Anfang an versucht werden, möglichst hohe Kraftwerte zu produzieren. Dabei wird aber nicht die maximal mögliche Geschwindigkeit erzielt.

Güllich und Schmidtbleicher (1999; 2000) differenzieren unter Berücksichtigung sportartspezifischer Anforderungen zwei Formen von Schnellkraftleistung. Schnellkraftleistungen, welche innerhalb von 200 ms realisiert werden müssen, sind hauptsächlich durch die Explosivkraft determiniert. Alle Schnellkraftleistungen mit einer Impulsdauer von über 200 ms hingegen hängen hauptsächlich vom dynamisch realisierten Kraftmaximum ab.

> Das dynamisch realisierte Kraftmaximum bezeichnet die Fähigkeit, in Abhängigkeit von der äußeren Last bei deren Überwindung (Beschleunigung) einen möglichst hohen Kraftwert zu erzeugen. (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 225)

Dieses ist wiederum maßgeblich durch das Niveau der Maximalkraft bestimmt.

Ehlenz, Grosser und Zimmermann (2003, S. 70) fordern vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Zielsetzungen der Kraftentwicklung,

> zwei Definitionen der Schnellkraft zu unterscheiden, eine Definition, die das Ziel ausdrückt, eine Bewegung in kurzer Zeit auszuführen, und eine Definition, die erkennen lässt, dass man nicht zeitlimitiert einem Gegenstand eine hohe Endgeschwindigkeit erteilen muss.

Pampus (2001, S. 18) fügt diese unterschiedlichen Zielsetzungen der Schnellkraftentwicklung mit der eingangs formulierten Definition über den Kraftstoß zusammen, so

> dass die Schnellkraft von drei Faktoren abhängt:
> 1. vom schnellen Kraftanstieg (Startkraft und Explosivkraft),
> 2. vom Kraftmaximum (isometrische Maximalkraft bzw. RDK [relatives dynamisches Kraftmaximum]),
> 3. von der Dauer der Kraftwirkung.

Um diesen differenzierten Anforderungen an eine Schnellkraftleistung gerecht zu werden, wurde die isometrische und dynamisch-konzentrische Schnellkraft in Startkraft, Explosivkraft und weitere Kennziffern unterteilt.

Abbildung 2-33 stellt die Bedeutung des Kraftanstieges pro Zeiteinheit für die sportliche Leistung anhand des Vergleiches zweier Kraftkurven dar. Sportler A zeichnet sich durch einen steileren Anstieg der Kraftentwicklung aus, was sich in dem höheren Kraftwert zu T1

widerspiegelt. Zum Zeitpunkt T2 haben beide Sportler die gleiche Kraft entwickelt, wobei die höhere Leistung von Sportler A erbracht wurde. Das höhere dynamische Kraftmaximum von Sportler B birgt für die Kraftentwicklung zu T1 und T2 keine Vorteile.

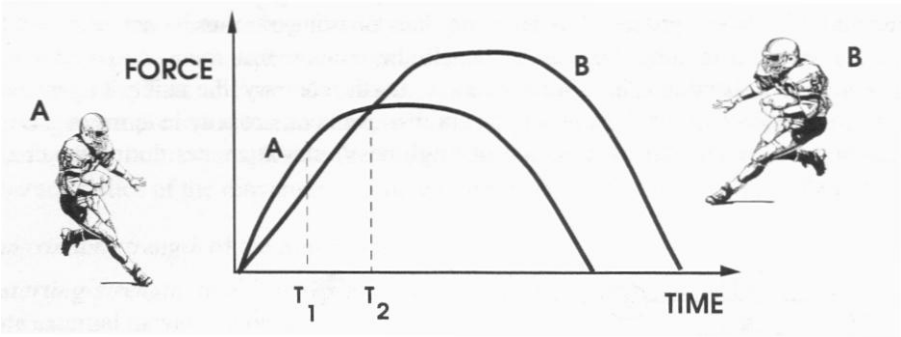

Abbildung 2-33: Kraft-Zeit-Kurven zweier unterschiedlicher Athleten bei derselben Aufgabe (Siff, 2000, p. 109).

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass im angloamerikanischen Raum mit den Begriffen `force´ und `power´ eine physikalisch orientierte Definition der Kraft verwendet wird. Sie vermeidet explizit den „Anschein eines Fähigkeitscharakters“ (Hohmann & Giggel, 2005, S. 25):

> Strength: The maximal force a muscle or muscle group can generate at a specified velocity. … Power: The rate of performing work ; the product of force and velocity. The rate of transformation of energy to work or heat. (unit: watt). (Knuttgen & Kraemer, 1987, p. 7)

Für die vorliegende Arbeit wurde der Begriff der muskulären Leistung gewählt, der sowohl die Schnellkraftdefinition über Kraft-Zeit-Kurven als auch die Betrachtungsweise der Leistung über Kraft-Geschwindigkeits-Kurven beinhaltet. Analog zu Ehlenz, Grosser und Zimmermann (2003, S. 70) sind dabei zwei Definitionen der muskulären Leistung zu unterscheiden,

> eine Definition, die das Ziel ausdrückt, eine Bewegung in kurzer Zeit auszuführen, und eine Definition, die erkennen lässt, dass man nicht zeitlimitiert einem Gegenstand eine hohe Endgeschwindigkeit erteilen muss.

2.2.2 Trainingsmethoden der Schnellkraft

Die Definition der Begriffe Schnellkraft und muskuläre Leistung offenbart unterschiedliche Zielsetzungen, die durch unterschiedliche Trainingsmethoden der Schnellkraft verbessert werden können. Tabelle 2-16 gibt einen Überblick verschiedener Schnellkrafttrainingsmethoden auf Basis der grundlegenden deutschsprachigen Literatur (Bührle, 1985a; Martin et al., 2001; Pampus, 1995; Hohmann & Lames, 2007; Tidow, 1994; Letzelter & Letzelter, 1986; Ehlenz et al., 2003; Güllich & Schmidtbleicher, 1999).

Hierbei sind zwei grundlegende Trainingsansätze erkennbar: zum einen wird gegen hohe Lasten (70-100% 1 RM) trainiert, um die Kraftkomponente von Schnellkraftleistungen zu verbessern (Maximalkrafttraining). Zum anderen werden leichte bis moderate Lasten (20-60% 1 RM) zur Verbesserung der Kraftentwicklung und somit der Geschwindigkeitskomponente gehoben (spezielles Schnellkrafttraining). Das Maximalkrafttraining schafft die entscheidende konditionelle Basis für die Schnellkraftfähigkeit, da es die Muskelfaserreserven besser als ein Schnellkrafttraining mobilisiert (Schnabel, Harre, & Borde, 1994, S. 333). Durch den methodischen Schritt des speziellen Schnellkrafttrainings wird der Gewinn an Maximalkraft in eine spezifische Schnellkraft übertragen (Letzelter & Letzelter, 1990, S. 235).

Tabelle 2-16: Übersicht etablierter Trainingsmethoden zur Verbesserung der Schnellkraft.

Trainingsmethode	Kontraktions-formen	Intensität			Umfang		Dichte		
		Geschwindigkeit	Krafteinsatz	% 1 RM	Wdh.	Sätze	Dauer	Wiederholungs-pause	Satzpause
Maximale Krafteinsätze, NAM: Maximalkraftmethode	konzentrisch	optimal schnell	explosiv	100%	1-2	5	-	10 sec.	> 3 min.
Maximale isometrische Kontraktionen	isometrisch	-	explosiv	100%	1-2	5	2-3 sec.	10 sec.	> 3 min.
Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung	k.A.	-	explosiv	90-100%	1-3	3-6	-	-	≥ 6 min.
Submaximale Krafteinsätze	konzentrisch	optimal schnell	explosiv	70, 80, 85, 90 %	4, 3, 2-1	2-2-2	-	10 sec.	> 3 min.
NAM: Explosivkraftmethode	konzentrisch	maximal	-	50-95%	2-5	2-5	-	-	> 3 min.
Belastungsmethode nach dem Prinzip der Muskelleistungsschwelle	konzentrisch	optimal schnell	explosiv	55-60%	6-8	3-5	-	10 sec.	> 2 min.
Schnellkraftmethode	konzentrisch	maximal	-	40-60%	6-12	3-5	-	-	> 3 min.
Zeitkontrollierte Schnellkraftmethode	konzentrisch	maximal	-	40-60%	6-8	3-5	-	10 sec.	> 3 min.
Explosiv-ballistische Kontraktionen	konzentrisch	maximal	explosiv-schnell	20-40%	4-8	3-5	-	5-10 sec.	3-5 min.
Kontrastmethode	konzentrisch	maximal	-	60-80% 105-120%	abwechselnd 3-5 pro Last	1-3 pro Last	-	-	> 3 min.
Pyramidenmethode hohe Lasten	konzentrisch	optimal schnell	explosiv	80, 85, 90, 95, 100, 90, 80%	7, 5, 3, 2, 1, 3, 7	1	-	10 sec.	> 3 min.
Pyramidenmethode geringe Lasten	konzentrisch	maximal	-	30, 35, 40, 45, 50%	12-8	1 pro Last	-	-	> 3 min.

k.A., keine Angaben; NAM, Methode der maximalen Krafteinsatze gegen hohe und höchste Lasten; Wdh., Wiederholungen.

Ähnliche Angaben finden sich auch im angloamerikanischen Raum. Das American College of Sports Medicine (2009) empfiehlt in einem Übersichtartikel zum Krafttraining mehrgelenkige Übungen für Einsteiger, Trainierte und Leistungssportler im Schnellkrafttraining. Diese werden ergänzend zu einem regulären Trainingsprogramm durchgeführt:

- 1-3 Sätze pro Übung,
- leichte bis mittlere Lasten (30-60% 1 RM Oberkörper, 0-60% 1 RM für Unterkörper),
- 3-6 Wiederholungen bei submaximaler Wiederholungszahl.

Hierbei sind die Lasten für Trainierte und Leistungssportler im Rahmen des periodisiertes Mehrsatz-Training (3-6 Sätze), integriert in das übliche Krafttrainingsprogramm mit 1-6 Wiederholungen, zu variieren:

- schwere Lasten (85-100% 1 RM) zur Verbesserung der Kraftkomponente,
- leichte bis moderate Lasten (30-60% 1 RM Oberkörper, 0-60% 1 RM für Unterkörper) bei explosive Bewegungsausführung zur Verbesserung der Kraftentwicklung.

Die Satzpause beträgt mindestens 2-3 Minuten zwischen den Hauptübungen bei hoher Intensität und 1-2 Minuten bei ergänzenden Übungen mit geringerer Intensität. Die Trainingsfrequenz ist je nach Zielgruppe unterschiedlich:

- Einsteiger: 2-3 Mal/Woche, Ganzkörper- oder Splitprogramm,
- Fortgeschrittene: 3-4 Mal/Woche, Ganzkörper- oder Splitprogramm,
- Leistungssportler: 4-5 Mal/Woche, Ganzkörper- oder Splitprogramm.

Die spezifische Krafttrainingsliteratur (Fleck & Kraemer, 2004; Baechle, Earle, & Wathen, 2000) empfiehlt mehrgelenkige und sportartspezifische Hauptübungen, wie z.B. olympisches Gewichtheben und dessen Variationen. Die exzentrische Phase wird dabei nicht betont. Diese Übungen werden zu Beginn der Trainingseinheit durchgeführt und durch eingelenkige Übungen ergänzt.

Fleck und Kraemer (2004) favorisieren ein periodisiertes Trainingsprogramm mit submaximalen Wiederholungszahlen. Es werden maximal fünf explosive Wiederholungen mit folgendem RM durchgeführt:

- schwer: 1-5 RM,
- moderat: 6-10 RM,
- leicht: > 10 RM.

Die Satz- und Übungspause beträgt mehr als 2 Minuten und es werden 4-10 Sätze pro Hauptübung und 1-3 Sätze für ergänzende Übungen durchgeführt.

Baechle, Earle und Wathen (2000) empfehlen ebenfalls ein periodisiertes Krafttraining, welches sich hinsichtlich der Zielsportarten unterscheidet:

- single-effort event (Kugelstoßen, Hochsprung, Gewichtheben):
  - 80-90% 1 RM,
  - 3-5 Sätze mit 1-2 Wiederholungen,
  - Satz- und Übungspause 2-5 min.

- multiple-effort event (Basketball, Volleyball):
  - 75-85% 1 RM,
  - 3-5 Sätze mit 3-5 Wiederholungen,
  - Satz- und Übungspause 2-5 min.

Die Bewegungsausführung ist in beiden Fällen explosiv. Die Trainingsfrequenz ist abhängig vom Leistungsniveau:

- Anfänger: 2-3 Mal/Woche, Ganzkörperprogramm,
- Fortgeschrittene: 3-4 Mal/Woche, Ganzkörper-, und Splitprogramm,
- Leistungssportler: 4-7 Mal/Woche, Ganzkörper-, und Splitprogramm.

Bei der Beantwortung der Frage nach der besten Krafttrainingsmethode gilt es folglich das Leistungsniveau des Sportlers, die Höhe des zu überwindenden Widerstandes bei der Zielübung und individuelle Stärken und Schwächen des Sportlers zu berücksichtigen. Es steht nicht die Frage nach dem „Entweder - Oder“ im Vordergrund der Betrachtungen, sondern vielmehr „Wann macht was für wen Sinn?“ (Wirth & Schmidtbleicher, 2007b). Die Maximalkraft- und Schnellkraftmethoden müssen schlussendlich sinnvoll miteinander kombiniert werden (Pampus, 1995, S. 59-60). Gerade im Zusammenhang mit einer sportartspezifischen Bewegungskoordination kommt hier der Schnellkraftmethode eine große Bedeutung zu: es gilt die intermuskuläre Koordination bei disziplinspezifischen Übungen zu berücksichtigen.

Wie zuvor schon Wirth und Schmidtbleicher (2007b) als auch Pampus (1995) weisen auch Cronin, McNair und Marshall auf die Notwendigkeit der sportartspezifischen Ausrichtung sowie der Berücksichtigung der individuellen Voraussetzungen im Schnellkrafttraining hin:

> Loading the neuromuscular system to maximize mean or peak power output necessitates an understanding of the force-velocity characteristics of the training movement and the requirements of the individual related to the athletic performance and their training status. Specific power techniques and loads can then be utilized to stimulate the required adaptation. (Cronin, McNair, & Marshall, 2001b, p. 68)

Kawamori und Haff (2004) eröffnen in diesem Zusammenhang eine Vielzahl offener Fragen bei der Gestaltung eines Schnellkrafttrainings.

Die in der vorliegenden Untersuchung verwendete Trainingsmethode der submaximalen Kontraktionen zur Verbesserung der muskulären Leistung ist auf Basis der oben dargestellten Literatur als Maximalkrafttraining einzuordnen.

2.3 Biologische Basis für Kraft und muskuläre Leistung

Sportliche Bewegungen und Bewegungsabläufe bedürfen komplexer neuromuskulärer Kontrollmechanismen. Der Ablauf einer Bewegungshandlung beginnt im Präfrontalen Kortex und dem Limbischen System, die Entscheidungsinstanzen für den Abruf gespeicherter Programmentwürfe in den Assoziationsfeldern des Endhirns. Diese Programmentwürfe werden vom Kleinhirn und den Basalganglien in räumlich-zeitlich gegliederte Bewegungsprogramme umgesetzt und zum Motorkortex (1. motorisches Neuron) als Exekutivorgan geleitet. Über efferente Bahnen gelangen die differenzierten Bewegungsengramme zu den motorischen Vorderhornzellen (2. motorisches Neuron) des Rückenmarks und werden auf Alphamotoneurone umgeschaltet. Je nach Zahl der innervierten motorischen Einheiten kommt es zu abgestuften Muskellängen und -kraftveränderungen und schlussendlich zu einer Bewegung oder Haltungsveränderung (Weineck, 2007, S. 160; Hohmann & Lames, 2007, S. 69). Hierbei lassen sich zwei Formen der motorischen Kontrolle unterscheiden: Regelung und Steuerung. Bei der Regelung (Feedback Control) wird aufgrund sensorischer Rückmeldungen während der Bewegung (online) oder nach Bewegungsende (off-line) ein Kontrollsignal generiert. Hieran sind besonders Spinalmark und Hirnstamm beteiligt. Die Steuerung (Feedforward-Control) basiert auf einem zuvor formulierten Bewegungsplan und findet im Großhirn statt. Bewegungshandlungen nutzen beide Kontrollformen, die zeitlich parallel ablaufen können (Konzak, 2003; Ghez & Krakauer, 2000).

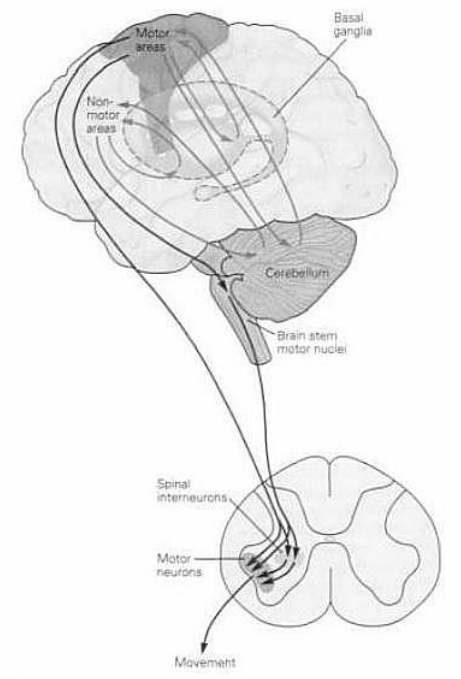

Abbildung 2-34: Das motorische System (Ghez & Krakauer, 2000, p. 667).

Die beteiligten Strukturen sind hierarchisch organisiert und besitzen drei seriell und parallel angeordnete Kontrollebenen: Spinalmark, Hirnstamm und Vorderhirn. Die motorischen Areale können die spinale Motoneurone direkt oder über den Hirnstamm beeinflussen. Alle drei Kontrollebenen erhalten sensorischen Input und stehen unter dem Einfluss zweier unabhängiger subkortikaler Systeme: den Basalganglien und dem Cerebellum.

In Bezug auf Bewegungshandlungen spricht Winter von der „Converging nature of the neuromusculoskeletal system“ (1995, p. 111) oder der „Neuro-musculo-skeletal integration“ (2005, p. 8). Gollhofer, Gruber und Bruhn (2003, S. 77) sehen hierin „Konvergenzebenen motorischer Systeme“. Hierbei lassen sich vier Ebenen unterscheiden:

1. Summation der erregenden und hemmenden Einflüsse auf die α-Motoneuronen,
2. Kraftsumme an der Sehne durch die Rekrutierung der aktiven Motoneurone,
3. resultierendes Gelenkmoment durch Aktivierung aller Agonisten und Antagonisten,
4. Integration der einzelnen Gelenkmomente in die Zielbewegung.

Ausgehend vom nervösen System werden über das muskuläre System die relevanten Grundlagen für die muskuläre Leistung betrachtet.

2.3.1 Neuronale Faktoren

Die Kraft, die ein Muskel entfaltet, hängt von der Rekrutierung motorischer Einheiten und den Entladungsfrequenzen der Motoneuronen ab (zur Signalübertragung s. Hollmann, Hettinger, & Strüder, 2000, S. 43–46; Klinke, Silbernagl, & Bauer, 2005, S. 64–78). Es werden drei Motorische Einheiten (ME) mit unterschiedlichen Kraft-Zeit- bzw. Ermüdungs-Zeit Verläufe unterschieden (Abbildung 2-36), die vier Muskelfasertypen innervieren (vgl. Kapitel 2.3.3). Die morphologischen und elektrophysiologischen Charakteristika sind der Literatur zu entnehmen (Edgerton & Roy, 2006, p. 45; Latash, 1998, p. 45).

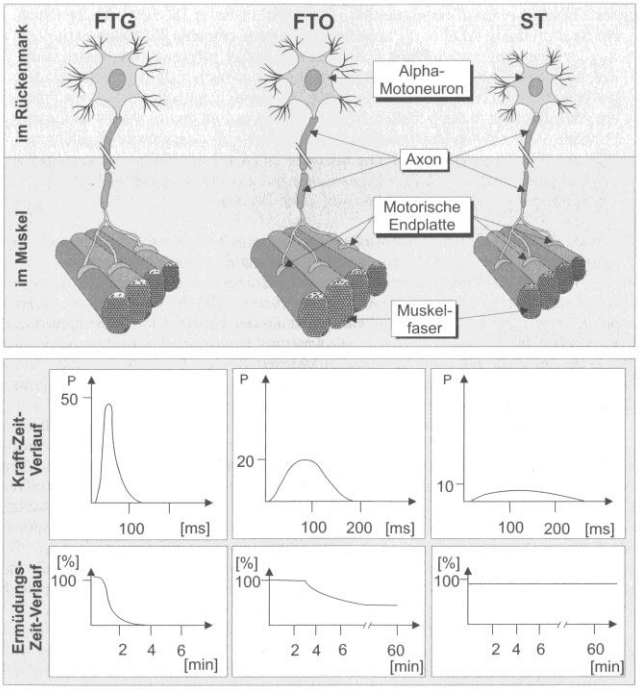

Abbildung 2-36: Schematische Darstellung unterschiedlicher motorischer Einheiten (FTG, fast twitch glycolytic; FTO, fast twitch oxidative; ST, slow twitch Hohmann & Lames, 2007, S. 70).

Die Aktivierung einer ME der Skelettmuskulatur durch ein einzelnes Aktionspotenzial wird als Einzelzuckung bezeichnet. Die Amplitude dieser Einzelzuckung ist im Skelettmuskel konstant und führt zu einer Erregung aller Muskelfasern einer ME (Alles-oder-Nichts-Prinzip). Da die Dauer eines Aktionspotenzials (wenige ms) deutlich kürzer ist als die mechanische Antwort (50-200 ms), kommt es bei einem zeitlichen Abstand von 2 Einzelzuckungen, der kürzer als die Einzelzuckung ist, zu einer so genannten Superposition. Diese Reizserien führen in Abhängigkeit von der Aktionspotenzialfrequenz zu einer unvollständigen tetanischen (Schwankungen im Reiztakt) oder vollständigen tetanischen Kontraktion (Abstand der Aktionspotenziale < als ⅓ der Einzelzuckungsdauer) (vgl. Klinke et al., 2005, S. 113–115 und Abbildung 2-35). Die Erhöhung der Aktionspotenzialfrequenz wird auch als Frequenzierung bezeichnet.

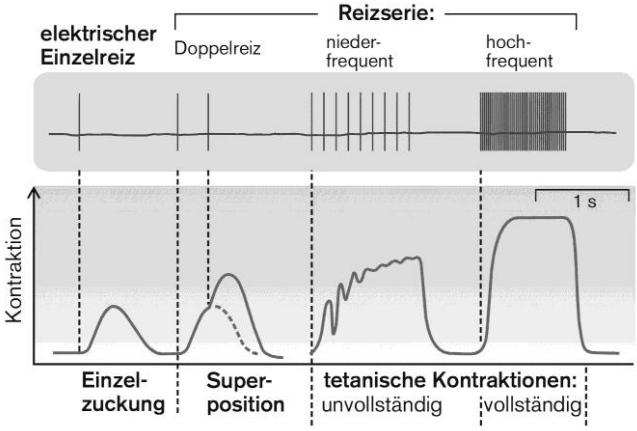

Abbildung 2-35: Einzelzuckung, Superposition und tetanische Kontraktion (Klinke et al., 2005, S. 114).

Die Rekrutierung der ME folgt dem Henneman´schen Größenordnungsprinzip (Henneman, Somjen, & Carpenter, 1965a; 1965b; vgl. auch Abbildung 2-37). Steigende Kraftanforderungen führen zunächst zu einer Erhöhung der Entladungsfrequenzen der kleinen ME. Reichen deren Kapazitäten nicht aus, werden größere/höherrangige ME rekrutiert. Hierbei weist das Kraft-Frequenz-Spektrum eine sigmoidale Beziehung auf (Enoka & Fuglevand, 2001, p. 8).

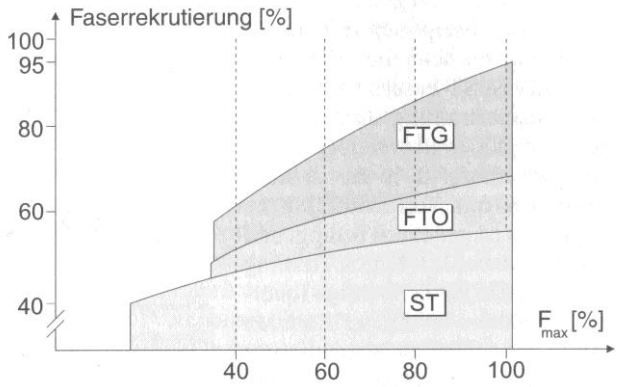

Abbildung 2-37: Größenordnungsprinzip bei der Rekrutierung (Hohmann & Lames, 2007, S. 71).

Rekrutierung und Frequenzierung stellen die beiden Hauptmechanismen der muskulären Kraftregulierung dar. Bei konstanter Kraftentfaltung zeigt sich eine Rekrutierungsvariabilität: es können wenige ME mit hohen Frequenzen oder mehr ME mit geringeren Frequenzen rekrutiert werden. Dieses „Abschalten“ einiger ME wird als Derekrutierung bezeichnet (Latash, 2008, p. 52). In den meisten Muskeln liegt das obere Limit der Kraftsteigerung durch Rekrutierung zusätzlicher motorischer Einheiten bei 85% der maximalen Kraft (einige Handmuskel 60% F_{max}). Danach erfolgen weitere Kraftzunahmen über erhöhte Entladungsfrequenzen der jeweiligen Motoneuronen (Duchateau, Semmler, & Enoka, 2006).

> The absolute force at which a motor unit is recruited is not fixed and varies with the speed and type of muscle contraction. (Duchateau et al., 2006, p. 1767)

Desmedt und Godeaux (1977a; 1978) konnten zeigen, dass die Rekrutierungsschwelle der ME mit zunehmender Kraftentwicklung abnimmt. Bei schnellstmöglichen ballistischen Kontraktionen sind alle motorischen Einheiten bereits aktiviert, bevor überhaupt eine Kraftentfaltung messbar ist. Die Rekrutierungsschwelle nähert sich somit Null an (Desmedt & Godaux, 1977a, p. 689; Abbildung 2-38) und es werden im Vergleich zu einem langsamen Kraftanstieg annähernd drei Mal so viele motorische Einheiten bei gleicher Zielkraft rekrutiert. Durch diesen Effekt scheinen die meisten ME bei ballistischen Kontraktionen mit einer Last von 33% der F_{max} eingesetzt zu werden. Abbildung 2-38 zeigt weiterhin, dass die Reduktion bei den ME mit der höchsten Rekrutierungsschwelle am deutlichsten ausgeprägt ist, wobei das Henneman´sche Größenordnungsprinzip stets aufrecht erhalten bleibt. Ein ähnliches Verhalten zeigt sich bei ermüdenden submaximalen Kontraktionen.

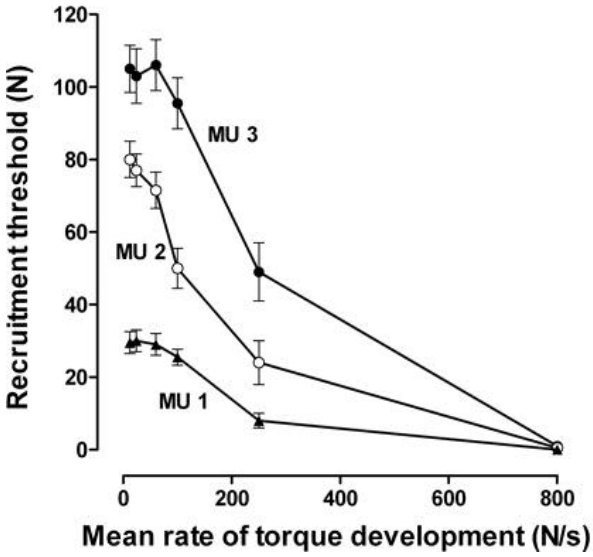

Abbildung 2-38: Reduzierung der Rekrutierungsschwelle von 3 ME (MU) bei zunehmender Kraftentwicklung (mod. nach Duchateau et al., 2006, p. 1767).

Im Laufe der Belastung leisten einzelne Muskelfasern ermüdungsbedingt keinen weiteren Beitrag zur Kraftentwicklung. Um der gestellten Kraftanforderung gerecht zu werden, wird der Inputstrom erhöht, sodass höherrangige ME beteiligt werden. Die neu hinzugezogenen höherrangigen ME werden somit bei geringeren Rekrutierungsschwellen aktiviert als unter ermüdungsfreien Bedingungen. Mit jeder ermüdenden Kontraktion nimmt die

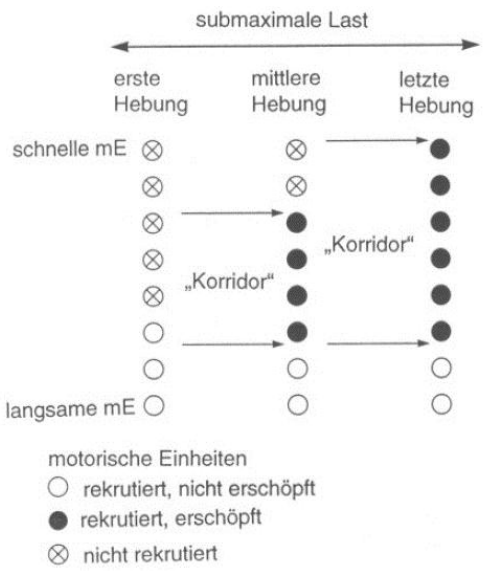

Abbildung 2-39: Korridor der aktivierten und ermüdeten ME (mod. Zatsiorsky, 1996, S. 126).

Rekrutierungsschwelle der ME weiter ab (Adam & de Luca, 2003). Diese zunehmende Rekrutierung von Muskelfasern wird von Zatsiorsky und Kraemer (2008, pp. 112–117) als „Korridor" bezeichnet (vgl. Abbildung 2-39). Die mögliche Anwendung sowie Studienergebnisse werden an anderer Stelle ausführlich diskutiert (Willardson, 2007).

> Perhaps, then, fatiguing high-intensity contractions provide a better way of activating high threshold motor units than non-fatiguing high-intensity muscle contractions. Alternatively, fatiguing contractions might induce a greater training response because they provide a better context in which to learn to more appropriately activate synergistic and antagonistic muscles. (Rooney, Herbert, & Balnave, 1994, p. 1163)

Der Vergleich von isometrischen und dynamischen Kontraktionen zwischen 2 und 15°/s lässt geringere Rekrutierungsschwellen bei dynamischer Arbeit erkennen (Tax, van der Denier Gon, Gielen, & van den Tempel, 1989). Die differierenden Rekrutierungsschwellen lassen darauf schließen, dass zwischen den beiden Aufgaben ein Unterschied im Motoneuroneninput besteht (Enoka & Fuglevand, 2001, p. 11). Exzentrische Kontraktionen hingegen scheinen durch höherrangige ME kontrolliert zu sein (Edgerton & Roy, 2006, pp. 50–51). Sie weisen geringe Entladungsfrequenzen auf, was durch eine bessere Synchronisation der ME im Vergleich zu konzentrischen und isometrischen Kontraktionen erklärt werden kann (Enoka & Fuglevand, 2001, pp. 11–12). Die selektive Rekrutierung der „fast twitch" (FT) Motoneuronen ist hierbei bei schnellen exzentrischen Kontraktionen am stärksten ausgeprägt (Nardone, Romanò, & Schieppati, 1989).

Die minimalen Entladungsfrequenzen bei willkürlichen Kontraktionen liegen zwischen 5-8 Impulsen pro Sekunde, die maximalen Frequenzen variieren je nach Muskel. Im Mittel betragen sie 30-50 Impulse pro Sekunde und können bei schnellen Kontraktionen 100-200 Impulse pro Sekunde erreichen (Enoka & Fuglevand, 2001). Neben der mittleren Entladungsfrequenz hängt die muskuläre Kraft von der Variabilität und Modulation der Entladungsfrequenzen ab. Diese Variation scheint mit steigender Kraft exponentiell abzunehmen (Duchateau et al., 2006, p. 1767).

Im Zusammenhang mit den Entladungsfrequenzen sei auf die so genannten „double discharges" (zwei Aktionspotenziale mit weniger als 20 ms Abstand (Sale, 2003, p. 288) bzw. 5 ms (Duchateau & Hainaut, 2003, p. 324) bei niedrig- und hochrangigen ME hingewiesen (vgl. Abbildung 2-40). Die Doubletten treten sowohl bei isometrischen als auch dynamischen Kontraktionen auf, zu Kontraktionsbeginn, während der Kontraktion und im Übergang von konzentrischer zu exzentrischer Bewegungsphase (Christie & Kamen, 2006; Enoka & Fuglevand, 2001).

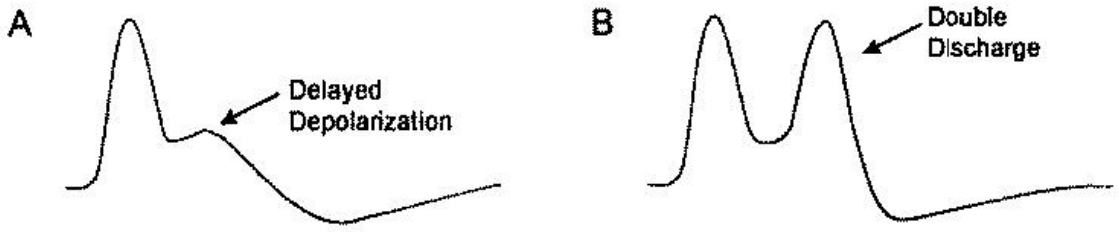

Abbildung 2-40: Double discharge (B); als mögliche Ursache kommt eine verzögerte Depolarisation (A) in Betracht (Garland & Griffin, 1999, p. 121).

Es werden unterschiedliche Wirkungsmechanismen diskutiert (Christie & Kamen, 2006), die unter anderem Bedeutung für explosive Kontraktionen haben könnten:

> It is suggested that the functional significance of these doublets is a contribution to an increase in the maximal rate of tension development and/or the enforcement of submaximal rates, depending on the moment when they appear in a burst. (van Cutsem, Duchateau, & Hainaut, 1998, p. 303)

Zusammengefasst können im Krafttraining eine erhöhte Aktivierung agonistischer Muskeln, eine angemessene synergistische Aktivierung der an einer Bewegung beteiligten Muskeln und eine reduzierte antagonistische Hemmung zu einer Verbesserung der Kraftleistungen führen (Sale, 2003; Abbildung 2-41).

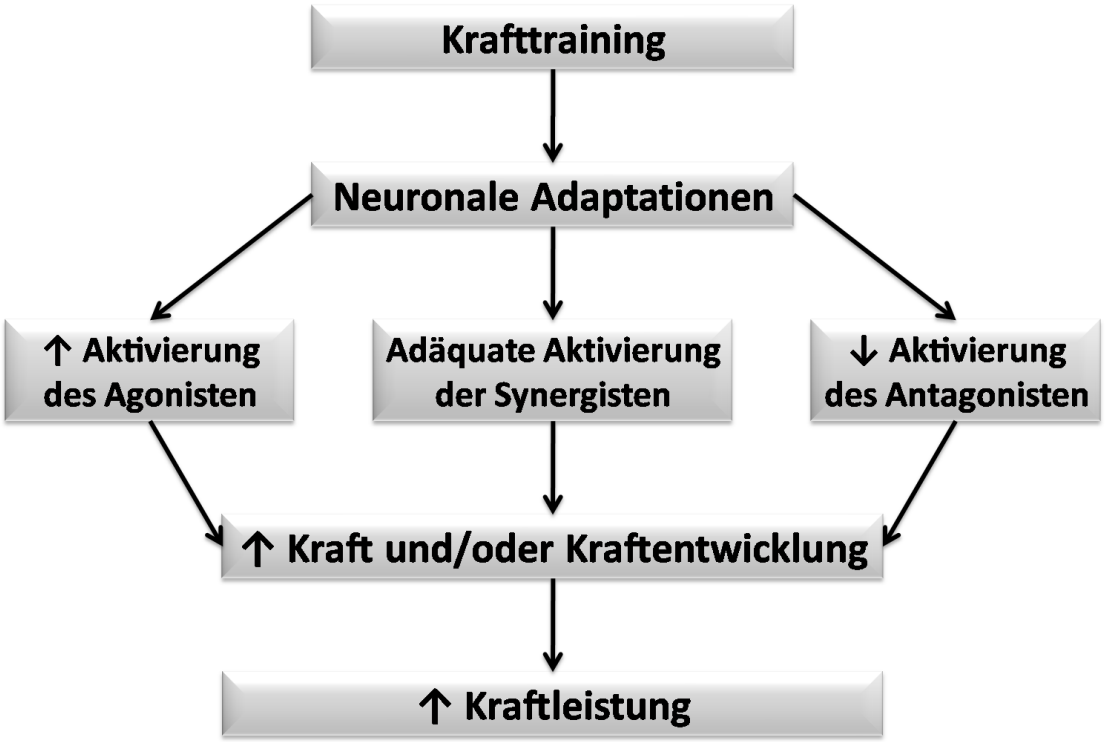

Abbildung 2-41: Mögliche neuronale Adaptationen im Krafttraining (mod. nach Sale, 2003, p. 282).

Die neuromuskulären Adaptationsmöglichkeiten und -mechanismen werden im Folgenden dargestellt.

2.3.2 Neuronale Adaptationen

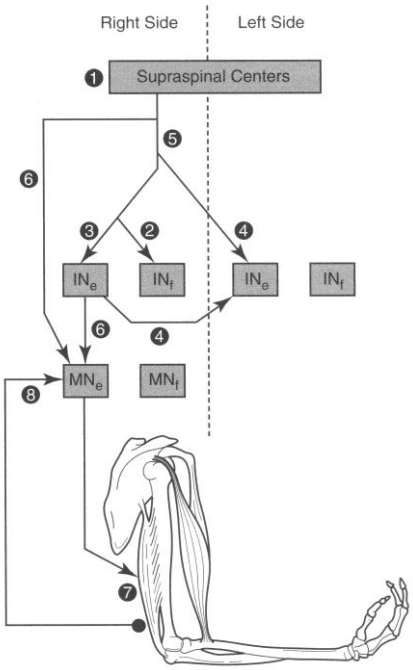

Abbildung 2-42: Mögliche neuronale Adaptationsmechanismen für Kraftzuwächse (IN, Interneuron; MN, Motoneuron; e, Extensor; f, Flexor; Enoka, 2008, p. 366).

Aufbauend auf Abbildung 2-41 identifiziert Enoka (2008, p. 414) acht mögliche neuronale Adaptationsmechanismen, die zu einer Kraftzunahme führen können:

1. gesteigerter Output supraspinaler Zentren,
2. reduzierte Koaktivierung antagonistischer Muskeln,
3. gesteigerte Aktivierung synergistischer Muskeln,
4. verbesserte Verknüpfung zwischen den spinalen Interneuronen (IN),
5. reduziertes bilaterales Defizit,
6. geteilter Input steigert die Synchronisation der ME,
7. erhöhte muskuläre Aktivierung und
8. erhöhte Erregbarkeit und veränderte Verbindungen der Motoneurone.

Die Mechanismen 1, 6 und 7 können die Muskelkraft bei Willkürkontraktionen über eine gesteigerte neuronale Erregung vergrößern. Potenzieller Mechanismus für eine gesteigerte Aktivierung des Agonisten stellen Veränderungen in den Rekrutierungsmustern der ME (Abbildung 2-43 (a)) und eine Erhöhung der neuronalen Aktivierung dar (Sale, 1988; Abbildung 2-43 (b) und (c)). Wie Abbildung 2-43 zeigt, kann eine Steigerung der Entladungsfrequenzen zu einer Erhöhung der Maximalkraft (b) oder der Kraftentwicklung (c) führen.

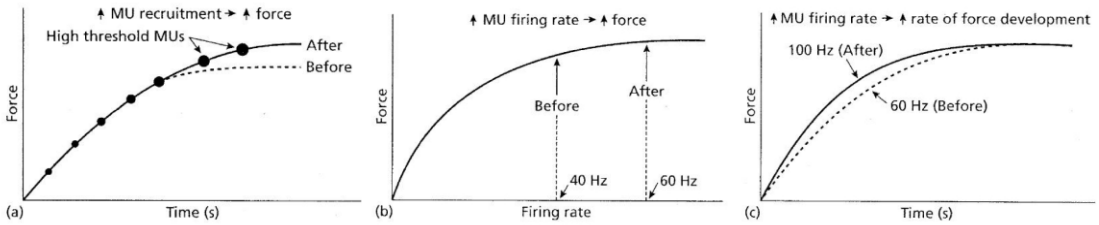

Abbildung 2-43: Kraftsteigerungen durch trainingsinduzierte Agonistenaktivierung mittels Rekrutierung und Frequenzierung (MU, motor unit; Sale, 2003, p. 283).

Kamen und Knight (2004) konnten nach einem sechswöchigen Krafttraining mit drei Trainingseinheiten Kniestrecken pro Woche (3 Sätze à 10 Wiederholungen bei 85% 1 RM) bei 8 jungen (21 Jahre) und 7 älteren (77 Jahren) Erwachsenen eine Steigerung der isometrischen Maximalkraft von 29% bzw. 36% sowie eine Erhöhung der maximalen Entladungsrate der ME von 15% bzw. 49% bei maximalen isometrischen Kontraktionen feststellen. Van Cutsem, Duchateau und Hainaut (1998) ließen fünf Probanden (18-22 Jahre) über 12 Wochen je 5 Mal pro Woche 10 Sätze mit 10 schnellen Dorsalflexionen mit 30-40% 1 RM ausführen.

> The main findings of the present study are that in the tibialis anterior training by dynamic contractions induces (1) no change in the recruitment sequence of the motor units during ramp contractions, (2) an earlier muscle EMG activity, (3) an increase in the maximal firing

> frequency of the motor units, and (4) brief interspike intervals (doublets) in the EMG burst of ballistic contractions. (van Cutsem et al., 1998, p. 302)

Die Rekrutierungsreihenfolge kann durch ein Training mit schnellen Kontraktionen nicht verändert werden. Sie folgt stets dem Henneman´schen Rekrutierungsprinzip (vgl. Abbildung 2-37). Lediglich die Rekrutierungsschwelle bei schnellen und kraftvollen Kontraktionen kann durch Training herabgesetzt werden.

> It is unknown if training can expand the range of motor unit recruitment and thereby modify the relative contributions of recruitment and rate coding to the gradation of muscle force across the operating range of the muscle (Duchateau et al., 2006, p. 1771)

Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang, dass es nach Bewegungsbeginn bei dynamischen Kontraktionen mit zunehmender Dauer zu einer `Derekrutierung´ der größeren ME kommt. Die kleineren ME hingegen sind bis zum Ende einer Kontraktion beteiligt und weisen den größeren Beitrag zur Kraftentfaltung auf (Duchateau & Hainaut, 2003). Miller, Mirka und Maxfield (1981) wiesen mittels Elektrostimulation nach, dass die willkürliche F_{max} und die willkürliche maximale Kraftentwicklung (RFD_{max}) geringer sind als die intrinsische kontraktile Kapazität des Muskels an sich (vgl. auch Enoka & Fuglevand, 2001, p. 9). Dieses Aktivierungsdefizit zeigt sich ebenfalls in Geschwindigkeits- und Leistungsparametern konzentrischer Muskelaktionen (Sale, 2003, p. 291). Folglich könnte die F_{max} wie auch die RFD_{max} durch eine Erhöhung der Entladungsfrequenzen der ME gesteigert werden, wie Kamen und Knight (2004), Patten, Kamen und Rowland (2001) sowie van Cutsem, Duchateau und Hainaut (1998) zeigen konnten.

Eine verminderte Koaktivierung antagonistischer Muskeln (Mechanismus 2, Abbildung 2-42) ist bei Leistungssportlern festzustellen, wobei der Beitrag zur Kraftsteigerung des Agonisten gering zu sein scheint. Die Koaktivierung von Agonisten und Antagonisten verbessert die Gelenkstabilität, Stiffness und variiert mit Kontraktionsform, Bewegungsgeschwindigkeit, Ermüdung und Trainingslevel (Kellis, 1998). Die Koaktivierung bestimmt letztendlich die Nettokraft des Agonisten und muss somit vom Nervensystem entsprechend der Aufgaben geregelt werden (Duchateau et al., 2006, p. 1769).

> Thus, it is not clear at this time what the CNS will optimise: force production or joint integrity. It is reasonable to speculate that the CNS compromises between these entities, which likely lies closer to ensuring joint integrity (by increasing joint stiffness via elevated antagonist co-activation) in situations of uncertainty about the motor task and/or in unstable movement conditions. (Gabriel, Kamen, & Frost, 2006, p. 141)

Langfristiges Training kann zu zwei Anpassungserscheinungen mit Zunahme der Nettokraft des Agonisten führen:

1. verringerte Aktivierung des Antagonisten mit einer Zunahme oder gleichbleibenden Aktivierung des Agonisten,
2. unveränderte Antagonistenaktivierung bei gesteigerter Aktivierung des Agonisten.

Bei explosiven bzw. ballistischen Bewegungen findet sich aufgrund der Präzision- und Stabilisationsanforderungen sowie dem notwendigen Abbremsen der Bewegung eine ausgeprägte Koaktivierung. Schnellkräftige Bewegungen mit der Intention abzustoppen, weisen dreiphasige Aktivierungsmuster (Agonist-Antagonist-Agonist) auf, wohingegen bei ungebremsten Bewegungen die Agonisten und Antagonisten simultan aktiviert werden (Sale, 2003, pp. 302–303).

Der kontralaterale Transfer, das bilaterale Defizit, die Synchronisation ME und die Reflexpotenzierung können auf spinaler Ebene die Kraftentwicklung beeinflussen. Der kontralaterale Transfer (Mechanismus 4, Abbildung 2-42) tritt nach mentalem Training auf. Größere Effekte sind bei realen Kontraktionen, speziell bei Elektrostimulation zu verzeichnen (Hortobagyi, Scott, Lambert, Hamilton, & Tracy, 1999; Zhou, 2000; Munn et al., 2004; Munn, Herbert, Hancock, & Gandevia, 2005b). Das bilaterale Defizit (Mechanismus 5, Abbildung 2-42, Jakobi & Chilibeck, 2001) zeigt durch langfristige Aktivierungsmuster bei Gewichthebern eine so genannte „bilaterale Bahnung“ (Enoka, 2002, p. 416), d.h. die maximale Kraft tritt bei bilateralen Kontraktionen auf.

> Apparently the ability to exhibit a bilateral deficit or a bilateral facilitation depends on factors that influence the integration of neural signals from peripheral and central sources. (Howard & Enoka, 1991, p. 315)

Eine gesteigerte Synchronisation der ME durch Verbesserung des gemeinsamen synaptischen Inputs der Motoneuronen wird als Anpassungserscheinung an ein Krafttraining angenommen (Mechanismus 6, Abbildung 2-42, Duchateau et al., 2006; Enoka, 2002; Fleck & Kraemer, 2004; Hohmann & Lames, 2007). Computersimulationen (Yao, Fuglevand, & Enoka, 2000) und empirische Daten (Kidgell, Sale, & Semmler, 2006) zeigen einen schwachen Zusammenhang zwischen Kraftverbesserungen und Synchronisation. Die Synchronisation der ME beeinflusst nicht die F_{max} eines Muskels (Yao et al., 2000). Felici et al. (2001) konnten bei Gewichthebern zu Beginn der Kraftentwicklung synchronere Entladungen der ME im Vergleich zu einer untrainierten Kontrollgruppe feststellen. Diese könnten eine höhere Kraftentwicklung zu Bewegungsbeginn begünstigen. Der zentrale Mechanismus hingegen, der die kurzfristige Synchronisation der ME regelt, ist unabhängig von Aktivierungscharakteristika und beeinflusst somit nicht die Kraftfähigkeit des Muskels (Duchateau et al., 2006, p. 1769). Es bleibt festzuhalten, dass die Bedeutung der Synchronisation der ME für Kraftsteigerungen unklar ist.

Die Reflexpotenzierung (Mechanismus 8, Abbildung 2-42) der V1 und V2 Amplitude in Relation zur M wave ist bei Gewichthebern im Vergleich zu Sprintern ausgeprägter, steigt durch Krafttraining an und verringert sich durch Immobilisation. Studien zum Dehnungs- und H Reflex lassen eine Plastizität der spinalen Leitungsbahnen vermuten. Krafttraining kann Veränderungen in den Verbindungen der Motoneuronen im Rückenmark hervorrufen (Enoka, 2002; Duchateau et al., 2006).

Koordinative Anpassungen im Rahmen von Krafttrainingsprogrammen stellen möglicherweise den potentesten Adaptationsmechanismus dar und sind verantwortlich für die Spezifität von Kraftanpassungen (Enoka, 2002). So konnten beispielsweise Rutherford und Jones (1986) im Verlauf eines 12-wöchigen dynamischen Krafttrainings einen Anstieg der Trainingslast von 200-240% zeigen, die isometrische Maximalkraft hingegen stieg nur um 4-20% an. Diese Unterschiede sind auf differierende Trainings- und Testmodalitäten zurückzuführen (Sale, 1991, pp. 27–29).

Bei submaximalen Kontraktionen fluktuiert die vom Muskel aufgebrachte Kraft um den mittleren anvisierten Kraftwert. Die Fluktuationshöhe wird durch die Intensität der Kontraktion, den Kontraktionstyp, die beanspruchte Muskulatur, die physische Erregung und Ermüdung bestimmt. Sie ist bei niedrigen Kräften ausgeprägter und spiegelt die oben beschriebene Variabilität der Entladungsfrequenzen der ME wider. Diese Fluktuation ist bei älteren Menschen höher als bei jungen Personen. Keen, Yue und Enoka (1995) konnten nach einem 12-wöchigen

Krafttraining der Abduktionsbewegung des linken Zeigefingers (3 TE/Woche, 6 Sätze à 10 Wiederholungen mit 80% 1 RM) neben einer Kraftsteigerung und Querschnittzunahme der Arbeitsmuskulatur eine Reduktion der Kraftfluktuation der älteren Studienteilnehmer auf das Niveau der jüngeren Probanden nach dem Training feststellen. Die Reduktion der Kraftfluktuation scheint in Zusammenhang mit Anpassungen der Entladungsfrequenzen der aktivierten ME zu stehen. Ein submaximales Krafttraining der Kniestrecker über 9 Wochen (2 TE/Woche) mit 3-6 Sätzen à 12 Wiederholungen bei konstanten Lasten bis zum Punkt des momentanen Muskelversagen führt nach dem Training zu einer Verringerung der aktivierten Muskelmasse beim Anheben einer zuvor definierten Last (Ploutz, Tesch, Biro, & Dudley, 1994). Als mögliche Ursachen wird ebenfalls eine Veränderung in der Aktivität der ME diskutiert: rekrutierte ME zeigen höhere Entladungsfrequenzen und die Rekrutierungsschwelle für nach dem Training nicht rekrutierte ME könnte angestiegen sein. Ferner könnte eine Optimierung der Kraftübertragung der kontraktilen Proteine auf das Skelett erfolgt sein. Für den Übertrag in sportartspezifische und alltägliche Situationen gilt es ferner die posturale und synergistische Spezifität der Trainingsübungen (Wilson, Murphy, & Walshe, 1996; Carroll, Riek, & Carson, 2001) zu berücksichtigen. Synergistische Interaktionen zeigen sich beispielsweise bei Gewichthebern, die bei der Durchführung der Übung Bankdrücken oder Beinstrecken eine stark lordosierte Position einnehmen, um Kraft aus nicht primär an der Bewegung beteiligten Muskeln zu übertragen (Enoka, 2008). An dieser Stelle sei auf die Bedeutung des Zusammenhangs zwischen Haltung und Bewegung, d.h. der Stütz- und Zielmotorik, als Hauptaufgabe der Motorik hingewiesen (zur Vertiefung Birbaumer & Schmidt, 2006).

2.3.3 Muskuläre Faktoren

Im muskulären System beeinflussen vielfältige Faktoren das mechanische und metabolische Verhalten des Muskels. Für die kontraktile Kraftentfaltung sind vornehmlich die Morphologie, die Architektur und die Zusammensetzung von Bedeutung, die in vivo durch das zentralnervöse System moduliert werden. Für die anaerobe Leistungsfähigkeit sind die glykolytischen Enzyme und das Ionentransportsystem leistungsbestimmend, wohingegen die aerobe Leistungsfähigkeit durch die mitochondrialen Enzyme und die Kapillardichte determiniert wird (vgl. Abbildung 2-44, Fitts, McDonald, & Schluter, 1991, p. 111; Aagaard & Bangsbo, 2006, p. 145).

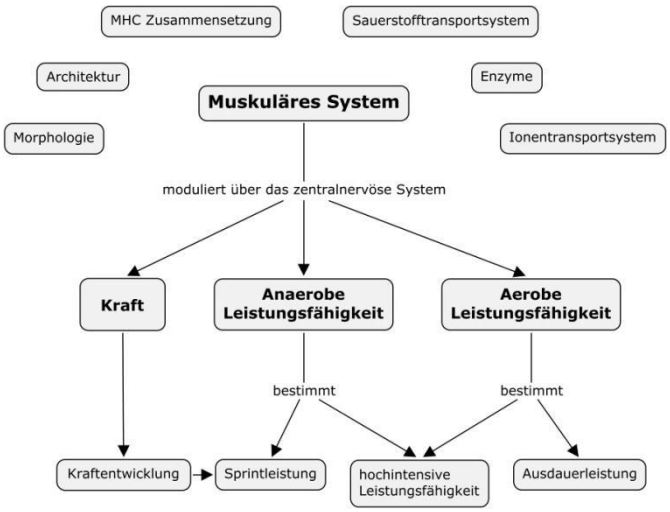

Abbildung 2-44: Vielfältige Komponenten bestimmen das mechanische und metabolische Verhalten des Muskels (MHC, myosin heavy chain [schwere Myosinkette]; mod. nach Aagaard & Bangsbo, 2006, p. 145).

Bezogen auf die vorliegende Untersuchung sind die kontraktilen Eigenschaften des Skelettmuskels, operationalisiert in der muskulären Leistung, und die anaerobe Leistungsfähigkeit im Rahmen der Beanspruchung eines Hypertrophie orientierten Krafttrainings zu betrachten. Für diese Untersuchung sind die elektromechanische Kopplung (Ca^{2+}-Zyklus) und der Querbrückenzyklus von primärer Bedeutung. Sie werden von Caiozzo und Rourke (2006) in diesem

Kontext als Schlüsselfunktionen bezeichnet. Die „zelluläre Atmung“ gewinnt bei Belastungen von mehreren Minuten und darüber hinaus zunehmend an Bedeutung (weiterführend dazu Wallace, 1999).

Ein Skelettmuskel kann aus einzelnen oder mehreren Muskelköpfen bestehen. Diese setzen sich wiederum aus zu Muskelfaserbündeln zusammengefassten einzelnen Muskelfasern zusammen. Die Architektur unterscheidet sich auf makroskopischer Ebene voneinander und weist in Abhängigkeit vom Fiederungswinkel eine unterschiedliche Kontraktionsgeschwindigkeit und -kraft auf. Ein durch Krafttraining vergrößerter Fiederungswinkel erlaubt eine Erhöhung des physiologischen Muskelquerschnitts und des kontraktilen Potenzials (Aagaard & Bangsbo, 2006, p. 152). Man unterscheidet je nach dem Verhalten der Muskelfasern zur Sehne generell in drei verschiedene Muskelformen: M. fusiformis, M. unipennatus und M. bipennatus.

Ungefiederte Muskeln liegen in einer Linie mit Ansatz und Ursprung, der anatomische Muskelquerschnitt entspricht dem physiologischen Querschnitt. Sie zeichnen sich durch eine hohe Kontraktionsgeschwindigkeit aus („Verkürzungsmuskel“). Gefiederte Muskeln weisen durch den Fiederungswinkel Abweichungen von der Kraftrichtung auf, der anatomische Querschnitt unterscheidet sich vom physiologischen Muskelquerschnitt (PCSA):

Formel 2-2: Physiologischer Muskelquerschnitt (PCSA).

$$PCSA\left(cm^2\right) = \frac{Muskelmasse\left(g\right) \cdot \cos\theta}{Faserlänge\left(cm\right) \cdot Muskeldichte\left(g \cdot cm^{-3}\right)}$$

Ihre Verkürzungsgeschwindigkeit ist geringer, die Kontraktionskraft größer („Kraftmuskel“) (Edgerton & Roy, 2006, pp. 41–43; Gollhofer et al., 2003, S. 58–59; Wilmore & Costill, 2004, pp. 364–366). Harridge (2007, p. 790) betrachtet die Querschnittzunahme gefiederter Muskeln unter dem Aspekt der Verkürzungsgeschwindigkeit kritisch:

> Whilst this serves to increases the physiological cross-sectional area of the muscle and thus force potential, the increase in angle of pull decreases the effectiveness of force applied by each fibre to the tendon. Thus, any gains in strength represent a balance of these two processes.

Aagaard und Bangsbo (2006, p. 153) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, das sich im Verlauf der Kontraktion der Fiederungswinkel verkleinert und es zu einer Art Wippenfunktion (Muskelfaser in Relation zur Aponeurose oder Sehne) kommt. Diese Wippenfunktion erhöht die Verkürzungsgeschwindigkeit gefiederter Muskeln effektiv (zur weiteren Vertiefung Gans, 1982).

Die Muskelfasern bestehen aus mehreren 100 Myofibrillen. Diese Myofibrillen setzen sich aus der kleinsten morphologischen Einheit des Skelettmuskels, den Sarkomeren, zusammen. Die Sarkomere bilden die eigentlichen kontraktilen Elemente. Die Anzahl der parallel angeordneten Sarkomere bestimmt die Muskelkraft (Stichwort Muskelquerschnitt). Die Anzahl der in Serie hintereinander angeordneten Sarkomere determiniert die Längenveränderung und letztendlich die Verkürzungsgeschwindigkeit (Vertiefung in Klinke et al., 2005, S. 102ff; Goldspink & Harridge, 2003, p. 234). Die Anzahl der Sarkomere im Muskel ist nicht festgelegt, sondern kann je nach Beanspruchung zu- bzw. abnehmen und wird durch die optimale Muskellänge für

häufig auftretende aktive und passive Kraftentfaltung bestimmt (Goldspink & Harridge, 2003, p. 242). Innerhalb des Sarkomers lassen sich drei verschiedene Proteinformen unterscheiden:

1. kontraktile Proteine,
2. regulatorische Proteine und
3. strukturelle Proteine(Caiozzo & Rourke, 2006, p. 116).

Die kontraktilen Proteine Aktin und Myosin verschieben sich bei Längenveränderung, Dehnung und Verkürzung des Muskels gegeneinander (Gleitfilamenttheorie, Huxley, 1957). Für eine Muskelverkürzung und Erzeugung von Muskelkraft sind zyklische Wechselwirkungen von Aktinfilamenten und Myosinköpfchen unter Hydrolyse von Adenosintriphosphat (ATP) notwendig. Dies wird als Querbrückenzyklus bezeichnet und findet in sechs wesentlichen Schritten (Abbildung 2-45) statt:

1. ATP lagert sich an den Myosinkopf an, die hochaffine Bindung von Myosinkopf und Aktin löst sich,
2. Hydrolyse von ATP,
3. niederaffine und
4. hochaffine Anlagerung des Myosinkopfes an Aktin,
5. Abspaltung des Phosphats (P_i)mit Kippung des Hebelarms,
6. Abgabe des Adenosindiphosphats (ADP) und weiteres Kippen des Hebelarmes.

Das Kippen des Hebelarms (1. und 2. Kraftschlag) führt zur Filamentverschiebung und Muskelverkürzung (zur Vertiefung Gordon, Regnier, & Homsher, 2001; Klinke et al., 2005, S. 105–106; Vale & Milligan, 2000).

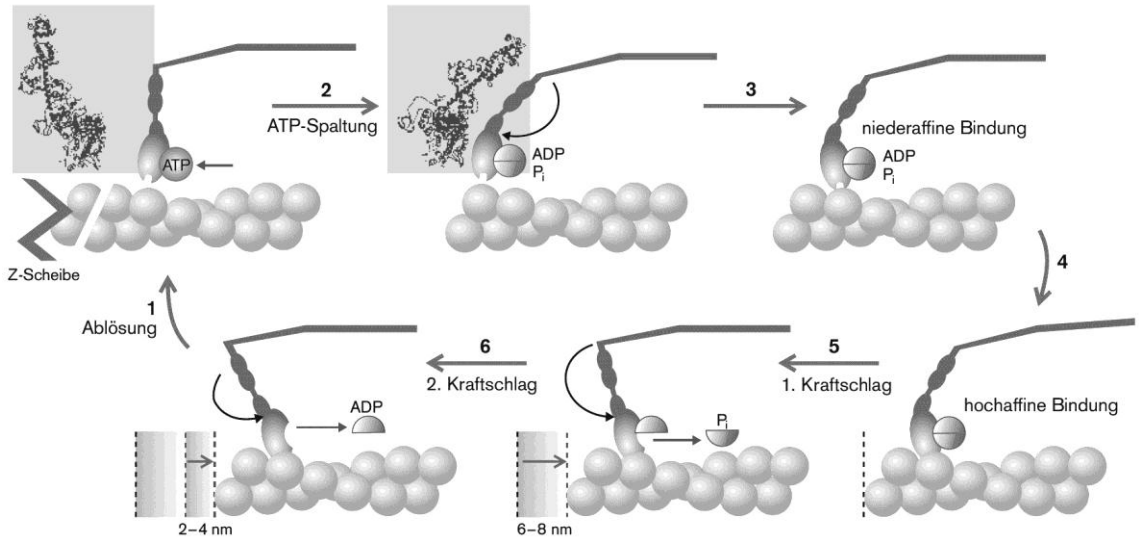

Abbildung 2-45: Der Querbrückenzyklus (Klinke et al., 2005, S. 106).

Die optimale Sarkomerlänge für eine hundertprozentige Kraftentwicklung beim Skelettmuskel liegt zwischen 2.0 und 2.2 µm. Steigt die Sarkomerlänge über 2.2 µm, nimmt die mögliche Kraftentfaltung aufgrund der geringeren Überlappung von Aktin- und Myosinfilamenten ab. Der Kraftabfall bei einer Sarkomerlänge unter 2.0 µm beruht auf der beginnenden Doppelüberlappung von Myosin- und Aktinfilamenten beider Sarkomerhälften, der Kollision der

Myosinfilamente mit den Z-Scheiben sowie der reduzierten Ausbreitung von Aktionspotenzialen in den T-Tubuli (Klinke et al., 2005).

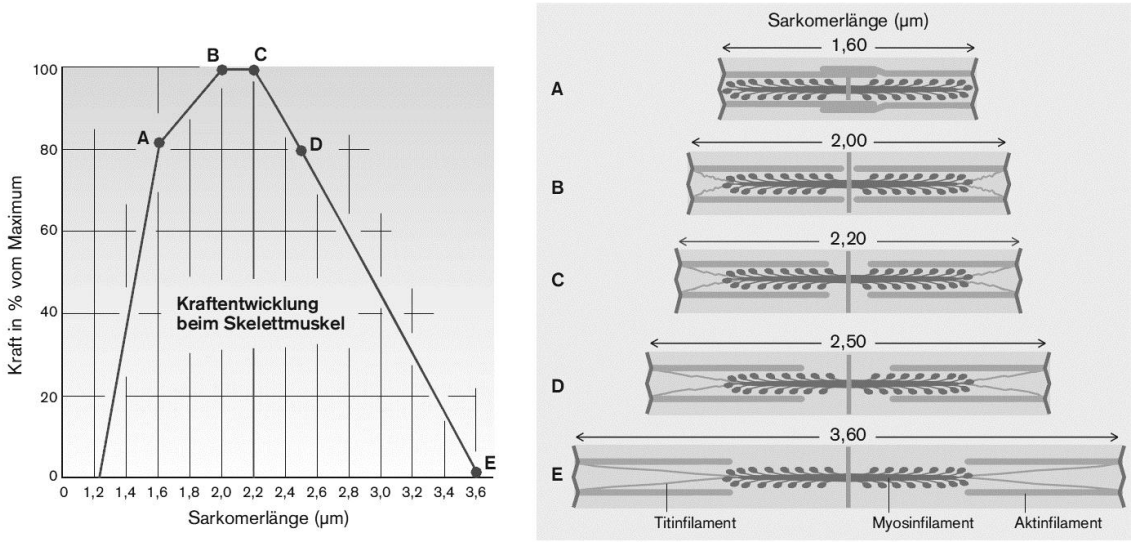

Abbildung 2-46: Einfluss der Sarkomerlänge auf die aktive isometrische Kraft (Klinke et al., 2005, S. 118).

Betrachtet man den gesamten Muskel, so spiegeln sich die auf Sarkomerebene gemachten Beobachtungen auch hier wieder. Der gesamte Arbeitsbereich des Muskels bewegt sich zwischen 75% und 170% der Ausgangslänge (Abbildung 2-47, (B)). Die aktive Insuffizienz bezeichnet den Bereich der Doppelüberlappung, die passive Insuffizienz ist durch geringere Überlappungen von Aktin- und Myosinfilamenten charakterisiert. In der Praxis befindet sich der Arbeitsbereich größtenteils zwischen 100% und 130% der Ruheausgangslänge des Muskels, d.h. nahe des Maximums bei geringen passiven Kräften (Abbildung 2-47 (A)). Die passive Kraft der parallel- und serienelastischen Elemente gewinnt bei zunehmender Muskellänge an Bedeutung und erzeugt einen immer größer werdenden Dehnungswiderstand (Herzog & Ait-Haddou, 2003; Gollhofer et al., 2003).

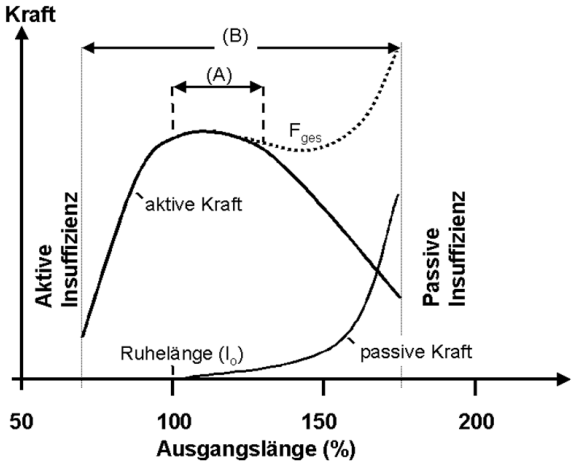

Abbildung 2-47: Zusammenhang von Muskelkraft und der Ausgangslänge. Getrennte Betrachtung der aktiven und der passiven Kraftkomponenten. Die nach außen wirkende Gesamtkraft (F_{ges}) setzt sich aus diesen beiden Anteilen zusammen (Gollhofer et al., 2003, S. 66).

Unter den myofibrillären Proteinen weist das Myosin die größte Plastizität (Pette, 2006, p. 3) auf und kann als „molekularer Motor“ (Caiozzo & Rourke, 2006, p. 116) bezeichnet werden. Jedes Myosinmolekül besteht aus zwei schweren (MHC) und vier leichten Ketten (MLC).

Tabelle 2-17: Ausgewählter Überblick der Schlüsselproteine im Sarkomer (mod. nach Caiozzo & Rourke, 2006, pp. 117–118; *, nicht bei Menschen expressiert; MHC, myosin heavy chain (schwere Myosinketten); MLC, myosin light chain (leichte Myosinketten)).

Protein	Isoformen	Ort	Funktion
Kontraktile Proteine			
Myosin	9	Myosinfilament	Molekularer Motor
MHC-I			Bindung an Aktin
MHC-IIa			Generierung von Kraft- und Längenveränderungen
MHC-IId(x)			
MHC-IIb*			
Aktin		Aktinfilament	bindet Myosin und überträgt Kraft- und Längenveränderungen
Regulatorische Proteine			
Tropomyosin	>3	Aktinfilament	reguliert die Interaktion von Aktin und Myosin stabilisiert das Aktinfilament Kopplung an Aktin?
Troponin-T	>6	Aktinfilament	beeinflusst die Position des Tropomyosins
Troponin-I	2	Aktinfilament	bindet Ca^{2+}, beeinflusst die Position des Tropomyosins
Troponin-C	2	Aktinfilament	beeinflusst v_{max}?
Myosin light chain-1	2	Myosinfilament	
Slow MLC1			beeinflusst das Spannung-Calciumionen Permeabilität (pCa^{2+}) Verhältnis
Fast MLC1			
Myosin light chain-2	2	Myosinfilament	
Slow MLC2			beeinflusst v_{max}
Fast MLC2			
Myosin light chain-3	1	Myosinfilament	
Fast MLC1			

MHC, myosin heavy chain; MLC, myosin light chain; pCa^{2+}, Calciumionen Permeabilität; v_{max}, maximale Geschwindigkeit.

Die **regulatorischen Proteine** der leichten Myosinketten (MLCs) modulieren hierbei die Aktivität der schweren Myosinketten (MHCs) im Myosinmolekül, wohingegen Tropomyosin, Troponin-T, Troponin-I und Troponin-C die kontraktilen Proteine an- und ausschalten (Billeter & Hoppeler, 2003). Betrachtet man die verschiedenen MHC- und MLC-Isoformen und berücksichtigt die schnellen und langsamen Isoformen der sarkoplasmatisch-kontraktilen Proteine wie z.B. Tropomyosin und Troponin-T, -I, -C, so wird an dieser Stelle die mögliche Kombinationsvielfalt deutlich (vgl. Pette & Staron, 1991). Goldspink und Harridge (2003, p. 235) sprechen in diesem Zusammenhang von einem Feintuning der Muskelverkürzung. Tabelle 2-17 fasst die kontraktilen und regulatorischen Proteine stark gekürzt zusammen.

Bezüglich der **strukturellen Proteine** und für eine detailliertere Gesamtübersicht wird auf die weiterführende Literatur verwiesen (Caiozzo & Rourke, 2006; Gordon et al., 2001; Klinke et al., 2005; Vale & Milligan, 2000; Pette, 2005).

Im erwachsenen menschlichen Muskel lassen sich drei reine Fasertypen unterscheiden, erwachsene Säugetiere weisen zusätzlich noch einen vierten Typ auf:

1. langsame Typ I Faser mit MHC-I,
2. schnelle Typ II Faser mit MHC-IIa,
3. schnelle Typ II Faser mit MHC-IId(x) und
4. schnelle Typ II Faser mit MHC-IIb.

Zusätzlich zu diesen am häufigsten im Muskel vertretenen reinen Fasertypen existieren noch so genannte Hybridfasern. Diese Hybridfasern können aus zwei oder mehr MHC-Isoformen bestehen. Abbildung 2-48 zeigt ein vereinfachtes Schema des Faserspektrums und der Phänotypen.

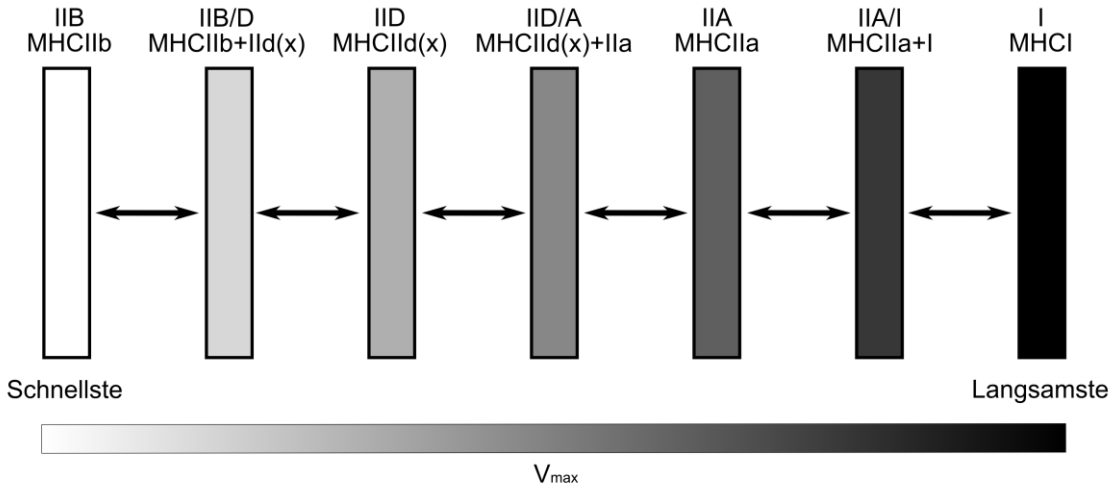

Abbildung 2-48: Vereinfachtes Schema des Faserspektrums und der Phänotypen (mod. nach Pette, 2005).

Neben den dargestellten Schlüsselproteinen kommt dem Sarkoplasmatischen Retikulum (SR) bezüglich des Ca^{2+}-Handlings im Rahmen der elektromechanischen Kopplung (Erregungs-Kontraktionskopplung) eine bedeutende Rolle für die Kontraktilitätsspezifität der einzelnen Muskelfasertypen zu. Ein über die T-Tubuli weitergeleitetes Aktionspotenzial setzt durch eine starke Membrandepolarisation Ca^{2+} in das umgebene Sarkoplasma mit den darin gelegenen Myosin- und Aktinfilamenten frei. Die hohe Ca^{2+}-Konzentration bewirkt eine Umlagerung des Tropomyosins, welches in Folge die hochaffinen Bindungsstellen am Aktin freigibt, es kommt zu einem Querbrückenzyklus (Abbildung 2-45, Abbildung 2-49).

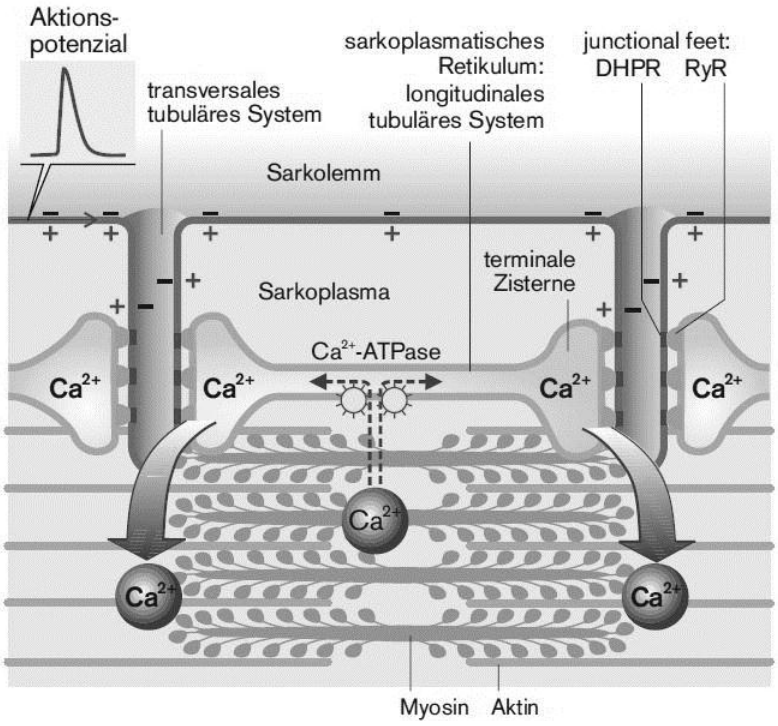

Abbildung 2-49: Elektromechanische Kopplung im Skelettmuskel (RyR, Ryanodin-Rezeptoren; DHPR, Dihydropyridin-Rezeptoren; Klinke et al., 2005, S. 109).

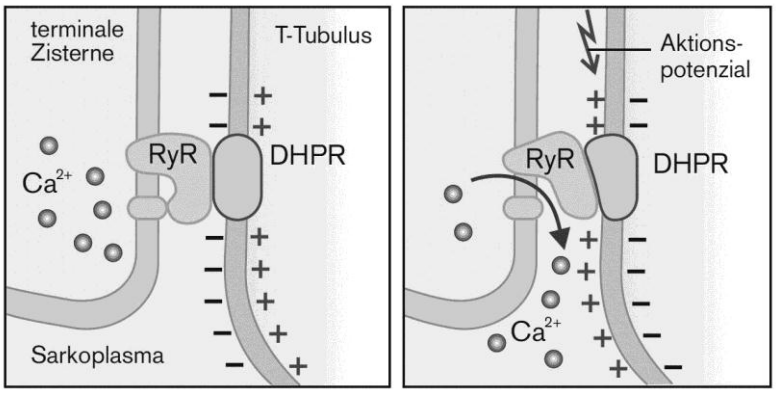

Abbildung 2-50: Öffnung des Ryanodin-Rezeptors mit Ca^{2+}-Freisetzung (RyR, Ryanodin-Rezeptoren; DHPR, Dihydropyridin-Rezeptoren; Klinke et al., 2005, S. 109).

Die Motoneuronen bestimmen über ihre Entladungsfrequenzen die Frequenz und Dauer der Ca^{2+}-Wellen und somit die Kraftproduktion des Muskels. Der Vergleich von schnellen und langsamen Muskelfasertypen zeigt einen deutlich größeren Anteil des SR am Zellvolumen (5-6%) in den schnellen Muskelfasern. Hierdurch erklären sich die schnelleren Relaxationsraten dieser Fasern. Die Ausschüttung von Ca^{2+} in das Sarkoplasma ist durch die Eigenschaften und den Typ der Ryanodin-Rezeptoren (RyR) bestimmt (Abbildung 2-50). Schnelle Muskelfasern weisen durch eine 2- bis 3-fach höhere RyR-Anzahl eine größere Ca^{2+}-Freisetzung als langsame Muskelfasern auf. Ebenfalls im Zusammenhang mit der oben genannten höheren Relaxationsrate der schnellen Muskelfasern stehen die unterschiedlichen Isoformen der Ca^{2+}-Pumpen (SERCA).

Der kontraktile Apparat und das SR müssen bei Aktivität nach wenigen Sekunden durch die Mitochondrien mit ATP versorgt werden. Die Mitochondriendichte der Typ I Fasern ist 2 bis 3-fach höher als die der Typ II Fasern. Die Aktivität der an der Energiebereitstellung beteiligten Schlüsselenzyme weist ebenfalls korrespondierende Unterschiede auf (Caiozzo & Rourke, 2006, Tabelle 2-18).

Die molekularen Eigenschaften der unterschiedlichen Fasertypen finden auf funktioneller Ebene ihren Ausdruck in der Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung. Die Kraft-Geschwindigkeits-Kurve (auch als Hill-Kurve bezeichnet, vgl. Abbildung 2-51) zeigt bei zunehmender Bewegungsgeschwindigkeit eine Abnahme der realisierbaren Kraft. Bei maximaler Geschwindigkeit ist die Kraft sehr gering, während die Kraft maximal wird, wenn keine Bewegung mehr stattfindet (isometrische Maximalkraft). Die Leistung hingegen erreicht ihr Maximum bei ca. ⅓ der maximalen Geschwindigkeit (*a*) bzw. etwa bei 50% der isometrischen Maximalkraft (*b*). Somit beträgt die maximale Leistung lediglich ⅙ des Wertes, der theoretisch möglich wäre, wenn die Maxima der Kraft und Geschwindigkeit gleichzeitig auftreten könnten. In der Praxis bedeutet dies, je niedriger die äußere Belastung ist, desto mehr verliert der Faktor Maximalkraft an Bedeutung und die Explosivkraft, die durch den maximalen Kraftanstieg innerhalb einer Kraft-Zeit-Kurve bestimmt ist, tritt zunehmend in den Vordergrund (Zatsiorsky & Kraemer, 2008; Schmidtbleicher, 1994).

Tabelle 2-18: Schlüsseleigenschaften der Fasertypen (gekürzt nach Caiozzo & Rourke, 2006, pp. 122–123).

Strukturelle/Funktionelle Eigenschaft	Langsam Typ I	Schnell Typ IIa	Schnell Typ IId(x)
Sarkoplasmatische Proteine			
• Ca^{2+} Kanal Isoform (RyR)	RyR1	RyR1	RyR1
• Ca^{2+} Kanal Anzahl	gering	hoch	hoch
• SERCA Isoform	SERCA2a	SERCA1	SERCA1
• SERCA Anzahl	gering	hoch	hoch
Mitochondriale Systeme			
• Respiratorische Kapazität	hoch	mittel	gering
• Protonenleitfähigkeit	gering	hoch	hoch
• Kapazität für ROS	hoch	mittel	gering
Morphologische Eigenschaften			
• Cross sectional area	gleich	gleich	gleich
• Myofibrilläre Volumendichte	gleich	gleich	gleich
• Sarkoplasmatische Volumendichte	gering	mittel	hoch
• Mitochondrienvolumendichte	hoch	mittel	gering
Substrateigenschaften			
• Triglyceride	hoch	mittel	gering
• Glykogen	gering	mittel	hoch
• Adenosintriphosphat (ATP)	gleich	gleich	gleich
• Kreatinphosphat (KP)	gering	hoch	hoch
Enzymatische Eigenschaften			
• Phosphorylase	gering	mittel	hoch
• Phosphofructokinase	gering	mittel	hoch
• Laktat Dehydrogenase	gering	mittel	hoch
• Triosephosphat Dehydrogenase	gering	mittel	hoch
• Succinate Dehydrogenase	hoch	mittel	gering
• Citrat Synthase	hoch	mittel	gering
Blutfluss			
• Kapillardichte	hoch	mittel	gering
• Kapillarlängendichte/Zellvolumen	hoch	mittel	gering
• Verhältnis Mitochondrienvolumen zu Kapillardichte	gleich?	gleich?	gleich?
• Myoglobin	hoch	mittel	gering

ROS, freie Radikale; RyR, Ryanodin-Rezeptoren; SERCA, Isoformen der Ca^{2+}-Pumpen.

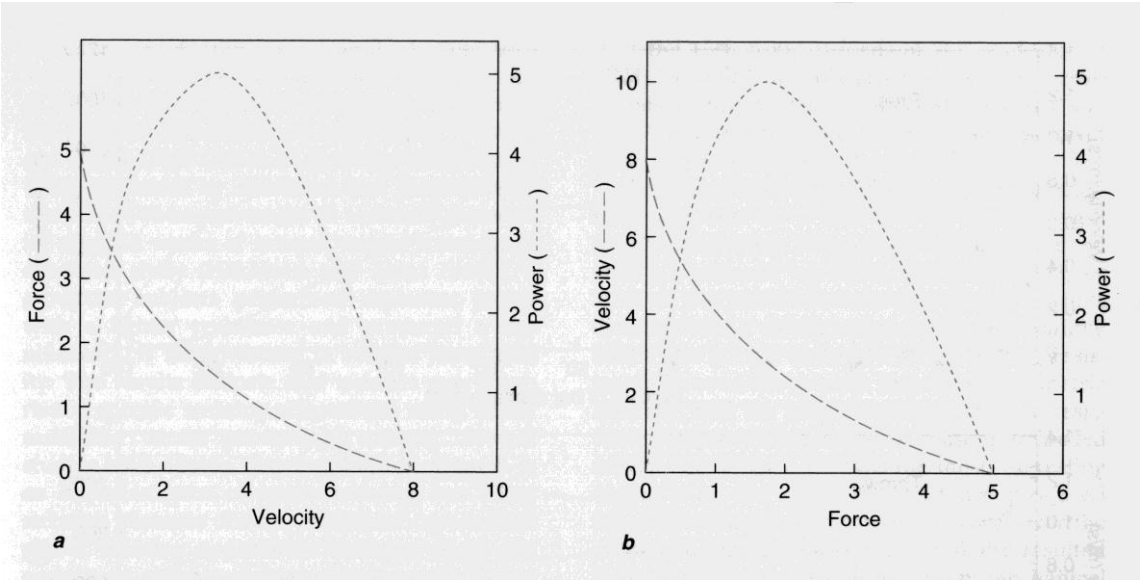

Abbildung 2-51: (a) Verhältnis von Kraft (----, linke Ordinate) und Leistung (— — —, rechte Ordinate) zur Geschwindigkeit bei maximalen konzentrischen Muskelaktionen. (b) Verhältnis von Geschwindigkeit (----, linke Ordinate) und Leistung (— — —, rechte Ordinate) zur Kraftentfaltung bei maximalen konzentrischen Muskelaktionen. Alle Muskelaktionen sind konzentrisch mit Ausnahme der isometrischen Kontraktion bei einer Geschwindigkeit von Null (Fleck & Kraemer, 2004, p. 225).

Betrachtet man die einzelnen Muskelfasertypen, so ist die unbelastete maximale Verkürzungsgeschwindigkeit (v_0) der Typ II Fasern im Vergleich zu den Typ I Fasern 4-fach (IIa) bzw. 9-fach (IId(x)) höher. Die Kraftentwicklung unter konzentrischen Bedingungen zeigt signifikant höhere Kräfte der Typ II Fasern (IId(x) > IIa) im Vergleich zu den Typ I Fasern. Die anhand des Muskelquerschnitts normalisierte Leistung der Typ IId(x) Fasern ist im Vergleich zu den Typ I Fasern 9-fach höher, die Verkürzungsgeschwindigkeit bei der maximalen Leistung 5 bis 6-fach schneller (Bottinelli, Canepari, Pellegrino, & Reggiani, 1996; Bottinelli, Pellegrino, Canepari, Rossi, & Reggiani, 1999; Caiozzo & Rourke, 2006). Es wird deutlich, dass die unterschiedlichen Muskelfasern mit ihren heterogenen Eigenschaften und ihrer variierenden Verteilung in den verschiedenen Muskelgruppen des Körpers eine Vielzahl von unterschiedlichen motorischen Aufgaben bewältigen können. So weisen die Typ I Fasern ihre höchste Effizienz (v_{opt}) bei isometrisch-tonischen Kontraktionen sowie langsamen Bewegungen auf, die aufgrund des geringen ATP-Verbrauchs lange aufrechterhalten werden können. Am anderen Ende des Spektrums der Leistungsfähigkeit finden sich die IId(x) Fasern, deren v_{opt} bei hohen Geschwindigkeiten und Krafteinsätzen liegt. Der geringe aerobe Metabolismus und die hohe anaerobe Leistungsfähigkeit erlauben aber nur kurze Einsatzzeiten (Bottinelli & Reggiani, 2000).

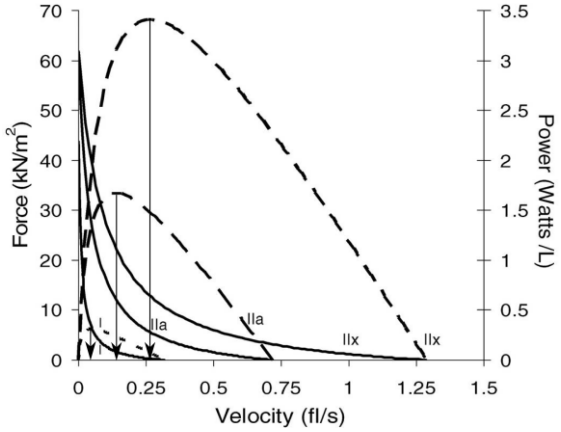

Abbildung 2-52: Schematische Zusammenfassung der Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung von menschlichen Muskelfasern mit unterschiedlichen MHC-Isoformen; die Pfeile markieren die optimale Effizienz (L und fl, Faserlänge; mod. nach Harridge, 2007, p. 784 und Bottinelli & Reggiani, 2000).

Die periphere Ermüdung bei hochintensiven Kontraktionen wird durch verschiedene Faktoren ausgelöst. Im Verlauf der Kontraktionen nimmt die Menge der energiereichen Phosphate ATP und Kreatinphosphat (KP) ab, wohingegen P_i, ADP, Laktat und Wasserstoff (H^+) mit zunehmender Ermüdung akkumulieren. Neben der Aufgabe, die Energie für den Querbrückenzyklus zu liefern, wird ATP für die Funktion der Natrium-Kalium-Pumpen und der Abgabe und Wiederaufnahme von Ca^{2+} ins Sarkoplasmatische Retikulum benötigt (Enoka, 2008; Fitts, 2006). Hierbei stellt nicht die Menge des verbrauchten ATPs bzw. des zur Resynthese genutzten KPs einen limitierenden Faktor dar, sondern die zunehmende Abweichung vom pH-Optimum. Diese beeinträchtigt die ATP-Hydrolyse durch Myosin bzw. die an der ATP-Bereitstellung und -Regeneration beteiligten Enzymsysteme (Klinke et al., 2005). Hohe Konzentrationen an P_i und H^+ reduzieren indirekt über die Calciumkonzentration (pCa) die Kraftentfaltung des Querbrückenzyklus und die Ca^{2+}-Sensitivität der Myofibrillen; dieser Effekt ist bei schnellen Muskelfasern ausgeprägter (vgl. Tabelle 2-18). Darüber hinaus vermindern freie Radikale (ROS) ebenfalls die myofibrilläre Calciumsensitivität. Eine erhöhte H^+-Konzentration (pH < 6.7) verlangsamt die Abdissoziation des ADPs und somit die Geschwindigkeit des Kontraktionsprozesses. P_i hemmt zum einen im Querbrückenzyklus das Lösen der Querbrücken, was den Kontraktionsprozess verlangsamt, zum anderen beeinflusst P_i die sarkoplasmatischen Calciumpumpen und verlangsamt dadurch die Wiederaufnahme von Ca^{2+} in das SR (Fitts, 2008).

2.3.4 Muskuläre Adaptationen

Eine Zunahme des Muskelquerschnitts durch Muskelfaserhypertrophie ist als langfristige Adaptation an Krafttraining anerkannt (Übersichten bei McDonagh & Davies, 1984; Jones, Rutherford, & Parker, 1989). Die Vergrößerung der Muskelmasse kann durch eine Erhöhung der Proteinsynthe-serate oder durch eine Verringerung der Proteindegradation erreicht werden. Unter normalen Bedingungen halten sich auf- und abbauende Prozesse die Waage (Abbildung 2-53, a). Krafttraining kann Hypertrophiesignale auslösen (b), Atrophiesignale hemmen (c) sowie zu beiden Signalwirkungen gleichzeitig führen (d). Es gilt zu beachten,

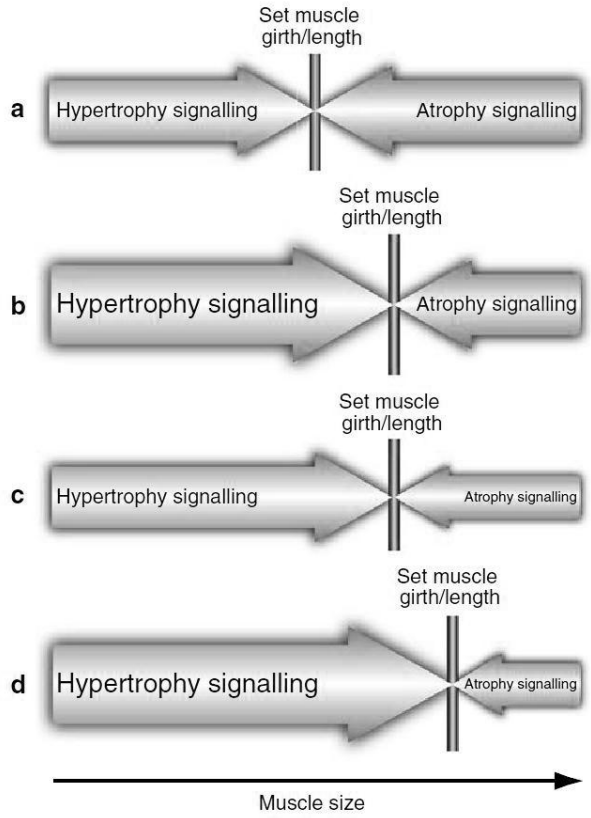

Abbildung 2-53: Vereinfachtes Modell zur Beziehung von Muskelgröße und anabolen bzw. katabolen Stimuli (Toigo & Boutellier, 2006, p. 649).

> dass Atrophie nicht einfach der Umkehrprozess von Hypertrophie ist. Obwohl es bestimmte Gengruppen gibt, die bei Atrophie und Hypertrophie invers reguliert sind, existieren auch transkriptionell distinkte Signalwege, die spezifisch für Skelettmuskelatrophie sind. (Toigo, 2006b, S. 124)

Die Halbwertzeit kontraktiler Proteine liegt im erwachsenen Muskel unter normalen Bedingungen zwischen 7 und 15 Tagen (Goldspink & Harridge, 2003, p. 236). Hochintensives Krafttraining führt zu einer erhöhten Proteinabbaurate, die bei Nahrungskadenz erhalten bleibt. Wird in der Regenerationsphase eine entsprechende Nahrung zugeführt, so kommt es zu einem Nettozuwachs an Protein im Muskel. Die erhöhte Proteinsynthese kann bis zu 72 Stunden nach einem Krafttraining aufrechterhalten werden. Myofibrilläres Wachstum und Proliferation stellen die zentralen morphologischen Veränderungen durch Krafttraining dar (MacDougall, Elder, Sale, Moroz, & Sutton, 1980; MacDougall, Sale, Moroz, Elder, Sutton, & Howald, 1979). Eine durch Krafttrainingsreize erhöhte Proteinsynthese fügt an der Peripherie der Myofibrille Myosin- und Aktinfilamente hin. Die Myofibrille wächst (MacDougall, 2003). Erreicht sie eine kritische Größe, wird als weiterer Mechanismus das so genannte myofibrilläre Splitting diskutiert (Goldspink & Harridge, 2003).

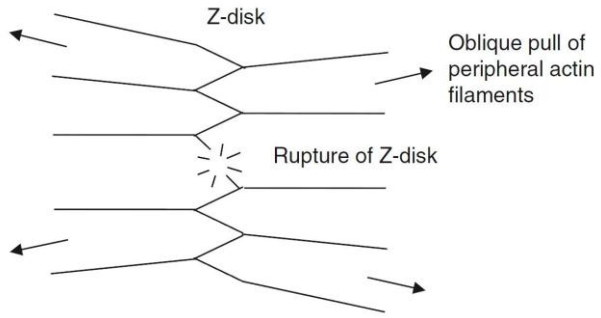

Abbildung 2-54: Myofibrilläres Splitting (Folland & Williams, 2007, p. 151).

Unterschiede in den Bereich der A- und I-Bänder führen dazu, dass bei einer Kontraktion die Aktinfilamente mit einem leicht schrägen Winkel an den Z-Scheiben ziehen. Nimmt die Größe der Myofibrille zu, so wird ebenfalls der Zugwinkel vergrößert und eine Ruptur der Z-Scheibe kann auftreten. Dieser Mechanismus kann sich fortsetzen und die komplette Myofibrille der Länge nach teilen (`splitten´).

Die Oberkörpermuskulatur reagiert aufgrund einer geringeren Alltagsbelastung und höheren Androgenrezeptorendichte mit größeren Muskelzuwächsen. In Abhängigkeit von der Übungsauswahl und der daraus resultierenden Muskelaktivierung kann es zu selektiver Hypertrophie kommen (Housh, Housh, Johnson, & Chu, 1992). Hierbei weisen Typ 2 Fasern/MHC II ein größeres Hypertrophiepotenzial auf, welches zusammen mit ihrer höheren Spannungsentwicklung den größten Beitrag zur Kraftzunahme des Gesamtmuskels liefert (Folland & Williams, 2007, p. 150). Sie werden unregelmäßig und nur bei schnellen und hochintensiven Kontraktionen rekrutiert, reagieren dann aber mit einer schnellen Querschnittvergrößerung. Langsame Muskelfasern zeigen bei regelmäßiger Rekrutierung eine geringer ausfallende Hypertrophiereaktion.

Bei der krafttrainingsinduzierten Muskelhypertrophie handelt es sich um komplexe biologische Antworten auf auslösende Reize. Nicht veränderbare individuelle Faktoren (z.B. Genotyp, Alter und Geschlecht) führen auf Basis veränderbarer Reize und Zustände (z.B. Training, Ernährung, Leistungsfähigkeit) zu einer systemischen Antwortreaktion. Die systemische Reaktion wird über vielzählige physiologische Systeme und molekulare Signalkaskaden zu einer genetischen Antwort in Form von Transkription und Translation. Der daraus resultierende Proteinmetabolismus führt beispielsweise zu myofibrillärer Proteinproduktion bzw. mitochondrialer Biogenese mit entsprechenden funktionellen Anpassungen (Spiering, Kraemer, Anderson, Armstrong, Nindl, Volek et al., 2008). Im Folgenden wird ein kurzer Abriss über die im Krafttraining relevanten Prozesse gegeben. Ausgangspunkt ist eine überschwellige muskuläre Aktivität durch Krafttraining. Sie führt zu einer Beeinflussung einer oder mehrerer

(1) mechanischer (passive bzw. kontraktionsbedingte Beanspruchung, muskuläre Schädigung),
(2) metabolischer (sarkoplasmatische Kalziumkonzentration, Energiebedarf, intramuskuläre Sauerstoffkonzentration),
(3) hormoneller (Verfügbarkeit von Hormonen und Wachstumsfaktoren) und
(4) immunologischer (Cytokine)

Variablen mit entsprechender Antwortreaktion (Rennie, Wackerhage, Spangenburg, & Booth, 2004; Spiering et al., 2008; Coffey & Hawley, 2006; Toigo & Boutellier, 2006; Tsika, 2006; Folland & Williams, 2007). Eine Schlüsselrolle bei den Signalkaskaden nimmt hierbei „Akt [aktivierte Proteinkinase B] als molekularer Checkpoint für die Integration von anabolen und katabolen Signalen“ (Toigo, 2006b, S. 124) ein.

Die in Kapitel 2.3.1 beschriebene muskuläre Aktivierung führt zu einer (1) mechanischen Deformation der Muskelfasern. Hierdurch kann es im Sinne einer Anpassung an die Kraftentwicklung und Kontraktionsstrecke zu einer Zu- (exzentrisches Training) oder Abnahme (konzentrisches Training) der seriellen Sarkomerzahl kommen. Als Mechanismen sind die myofibrilläre Passivspannung mittels Titin, die zelluläre Messfühlung über *hepatocyte growth factor* (HGF) und der biomechanische Mechanismus der *popping sarcomere hypothesis* zu nennen. Letztere

zwei Mechanismen aktivieren die Satellitenzellen (Toigo, 2006a). Muskelschädigungen aktivieren den *myogenic regulatory factor* (MRF), der die Transkriptionsfaktoren *Myogenin* (MyoG) und *myogenic differentiation* (MyoD) expressiert. Hierdurch wird die Satellitenzellenproliferation und -differenzierung angeregt und andererseits die Faserplastizität von schnell zu langsam ausgeprägt (Liu, Gampert, Prokopchuk, & Steinacker, 2007). Der stärker im Fokus stehende mechanische Reiz ist die Aktivierung von *mammalian Target of Rapamycin* (mTOR) mittels *aktivierter Proteinkinase B* (Akt) und/oder Phosphoglyceride. Über Phosphorylierung werden translatorische (z.B. *eukaryotic initiation factor 4E* [eIF4E]) und ribosomale Proteine (z.B. *Protein S6*) aktiviert und die Proteinsynthese erhöht. Auf der anderen Seite hemmt Akt die *glycogen synthase kinase 3 beta* (GSK3β), welche ihrerseits die mRNA Translation über den *eukaryotic initiation factor 2B* (eIF2B) zu Protein hemmt. Die Phosphorylierung der Transkriptionsfaktoren der Familie der *forkhead box O* (FOXO) verhindert deren Eintreten in den Zellkern und somit deren atrophierenden Einfluss über das Ubiquitin-Proteasen-System (Coffey & Hawley, 2006; Toigo, 2006b).

Die Aktivierung der Muskelfaser über das Nervensystem führt zu einer Ca^{2+}-Ausschüttung in das Sarkoplasmatische Retikulum mit anschließender Kraftproduktion der Muskelfaser. Dieser Prozess der Erregungs-Kontraktionskopplung stellt eine (2) metabolische Beanspruchung dar. Die Dauer und Amplitude der Ca^{2+}-Ausschüttung beeinflusst die Signaltransduktionspfade Calcineurin - *nuclear factor of activated T cells* (NFAT), die *Ca^{2+}-calmodulin abhängigen Kinasen I und IV* (CaMKII/IV) und den *Proteinkinase C* (PKC) Signalweg.

> These pathways activate transcription factors that regulate expression of mitochondrial and nuclear-encoded genes with resultant adaptations of both muscle fiber type and oxidative capacity. (Chin, 2005, p. 417)

Der Energieverbrauch beim Kontraktionsprozess führt zu einer metabolischen Beanspruchung durch Phosphorylierung (Hardie & Sakamoto, 2006). Die *Adenosinmonophosphat-aktivierte Proteinkinase* (AMPK) wird durch den Energieverbrauch aktiviert und fördert die Energiefreisetzung über den Glukose- und Fettstoffwechsel. Auf der anderen Seite wird mTOR gehemmt, um damit energieverbrauchende Prozesse wie die Proteinsynthese unter Belastung zu drosseln. Redoxmechanismen[6] der Glykolyse und Lipolyse in den Mitochondrien führen zu oxidativem Stress (ROS). Der oxidative Stress wirkt auf zwei Wegen: zum einen wird über den *nuclear factor kappa B* (NFκB) und *activator protein 1* (AP1) die Proteindegradation bedient, zum anderen verringert der oxidative Stress über den Mitochondrienstoffwechsel die Calciumsensibilität der Myofilamente (Smith & Reid, 2006). Krafttraining führt in Abhängigkeit vom Trainingsreiz zu spezifischen (3) hormonellen Reaktionen (Übersichten bei Crewther et al., 2006; Viru et al., 2003; Kraemer & Ratamess, 2005, vgl. Tabelle 2-19).

Die auto- und parakrine Ausschüttung von *insulin-like growth factor I* (IGF-I) aktiviert über den *phosphatidylinositol-3-kinase* (PI3K) Signalweg Akt. Ferner wird über eine Isoform spezifische Wirkung die Proliferation und Differenzierung von Satellitenzellen angeregt (Goldspink, 2005). Die spezifische Aktivierung der Familie der Wachstumshormone (GH) bedarf noch weiterer Aufklärung. GH wirkt über *janus kinase 2* (JAK2) auf PI3K und setzt den mTOR Signalweg in Gang. Weiterhin aktiviert GH die *mitogen-activated protein kinase* (MAPK). Der durch

[6] Elektronenübertragungs-Reaktion: Elektronenabgabe (Oxidation) durch einen Stoff sowie eine Elektronenaufnahme (Reduktion) an einen anderen Stoff.

mechanische und hormonelle Variablen beschrittene Signalweg der MAPK aktiviert verschiedene Translations- und Transkriptionsfaktoren und wirkt somit auf die Proteinsynthese (Spiering et al., 2008). Eine durch Krafttrainingsreize ausgelöste erhöhte Konzentration von zirkulierendem Testosteron führt über die Androgenrezeptoren zu einer verstärken Transkription. Darüber hinaus regt Testosteron zusätzlich das Muskelwachstum über die Satellitenzellenproliferation und -differenzierung an.

Tabelle 2-19: Zusammenfassung von Untersuchungen der akuten Hormonauslenkungen nach einem Hypertrophie-, Maximalkraft- und Schnellkrafttraining (mod. nach Crewther, Keogh, Cronin, & Cook, 2006).

	Hypertrophie	Maximalkraft	Leistung
Testosteron	↑↑↑↑	↑↑	↑↑↑↑
GH	↑↑↑↑↑↑↑↑	↑	↔
IGF-I	↑↑↑	↑↑↑↑	↔
Cortisol	↑↑↑↑↑	↔	↑↑

GH, Wachstumshormon; IGF-1, insulin-like growth factor 1; ↑, Anstieg; ↔, keine Veränderung bzw. gleiche Ergebnisse.

Mechanische Belastungen, vor allem Muskelschädigungen bei exzentrischen Kontraktionen, führen zu (4) immunologischen Reaktionen auf Krafttraining. Die pro-inflammatorische *Cytokine Interleukin-6* (IL-6) und *transforming growth factor-β* (TGFβ) aktivieren die Satellitenzellen, wohingegen der *tumor necrosis factor-α* (TNF α) die Akt-Signalwege hemmen kann (Smith, 2004; Proske & Allen, 2005). Wie aus den Antwortreaktionen ersichtlich wird, spielen Satellitenzellen bei der muskulären Anpassung an körperliches Training eine entscheidende Rolle. Stress aktiviert die zu der Muskelfaser gehörenden ruhenden Satellitenzellen. Die aktivierten Zellen können in Form von zwei unterschiedlichen Prozessen agieren: ein Teil kehrt zu dem ursprünglichen Ruhestand zurück und dient als Reserve ("Selbst-Erneuerung"); der andere Teil trägt zur Regeneration, Reparatur, Hypertrophie und Hyperplasie des Muskels bei (Liu et al., 2007, vgl. Abbildung 2-55). Bezüglich der aktivierenden Stressfaktoren werden 5 Triggermechanismen diskutiert:

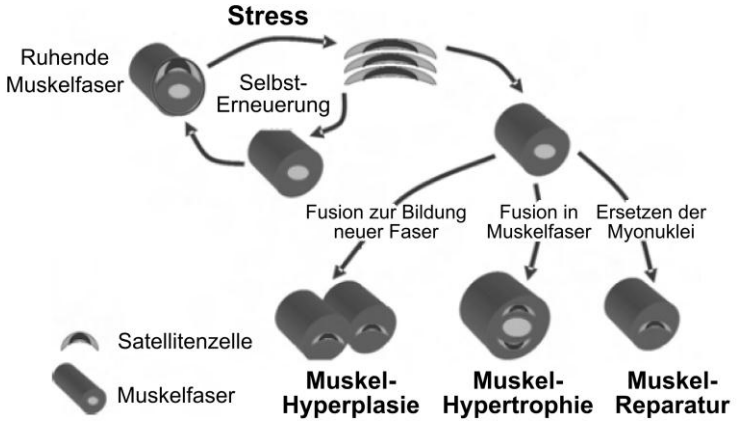

Abbildung 2-55: Die Bedeutung der Satellitenzellaktivierung in der Skelettmuskulatur (mod. nach Liu et al., 2007, S. 7)

(1) exercise per se,
(2) exercise-induced localised ultrastructural damage,
(3) exercise-induced segmental fibre damage,
(4) exercise-induced release of inflammatory substances or/and
(5) exercise-induced release of growth factors.
(Kadi, Charifi, Denis, Lexell, Andersen, Schjerling et al., 2005, p. 323)

In einer 16-wöchigen Krafttrainingsstudie mit 66 jüngeren (20-35 J.) und älteren (60-75 J.) Männern zeigten Petrella, Kim, Mayhew, Cross und Bamman (2008), dass eine myofibrilläre Hypertrophie über Satellitenzellaktivierung ausgelöst wird. In Abhängigkeit von der Anzahl der Satellitenzellen konnten extreme, moderate und non Responder für das durchgeführte Krafttraining (3 TE/Woche, je 3 x 8-12 RM bei 80% 1 RM; Beinstrecken, Kniebeugen und Beinpresse mit 90 sec. Satzpause) unterschieden werden. Einschränkend weisen die Autoren darauf hin, dass bei reduzierter Trainingsfrequenz bzw. verlängertem Trainingszeitraum die non Responder ebenfalls eine myofibrilläre Hypertrophie zeigen könnten. So besitzen beispielsweise krafttrainierte Personen eine höhere Anzahl an Myonuklei und Satellitenzellen als untrainierte Personen (Kadi & Thornell, 2000). Abbildung 2-56 zeigt einen zusammenfassenden Überblick über die vorgestellten Einflussvariablen.

Eine Identifizierung der möglichen Determinanten der Skelettmuskeladaption ist Voraussetzung für eine (1) hinreichende Quantifizierung und Qualifizierung des im Krafttraining applizierten Belastungsreizes, um (2) den kausalen Zusammenhang zwischen Reiz und Effekt bestimmen zu können. Die Beschreibung der Belastungskonfiguration im Krafttraining erfolgt üblicherweise auf Basis so genannter Belastungsnormative (Fleck & Kraemer, 2004, pp. 158–173; Bührle & Werner, 1984). Angesichts differenzierter Kenntnis molekularer und zellulärer Adaptationsmechanismen sind die klassischen Belastungsnormative dem Erkenntnisstand anzupassen (Toigo, 2006a; 2006b). Toigo und Boutellier (2006) haben auf dieser Basis mechano-biologische Deskriptoren des Krafttrainingsstimulus entwickelt (vgl. Tabelle 2-20).

Tabelle 2-20: Mechano-biologische Determinanten für trainingsinduzierte qualitative und quantitative Skelettmuskelremodellierung (mod. nach Toigo & Boutellier, 2006).

Mechano-biologische Deskriptoren			
Klassische Deskriptoren		**Neue Deskriptoren**	
x_1	Spannungshöhe (z.B. % 1 RM)	x_7	Fraktionelle und temporale Verteilung der Kontraktionsarten pro Wiederholung und Dauer (sec.) einer Wiederholung
x_2	Anzahl Wiederholungen	x_8	Pause zwischen intermittierenden Wiederholungen (sec., min.)
x_3	Anzahl Sätze	x_9	Spannungsdauer (sec., min.)
x_4	Pause zwischen den Sätzen (sec., min.)	x_{10}	Muskelerschöpfung
x_5	Anzahl der Trainingseinheiten (Tag, Woche)	x_{11}	Bewegungsumfang (range of motion, ROM)
x_6	Dauer der Trainingsperiode (Tage, Wochen)	x_{12}	Erholungszeit zwischen den Trainingseinheiten (h, Tage)
		x_{13}	Anatomische Definition der Übungsausführung (Trainingsqualität)

1 RM, 1 repetition maximum.

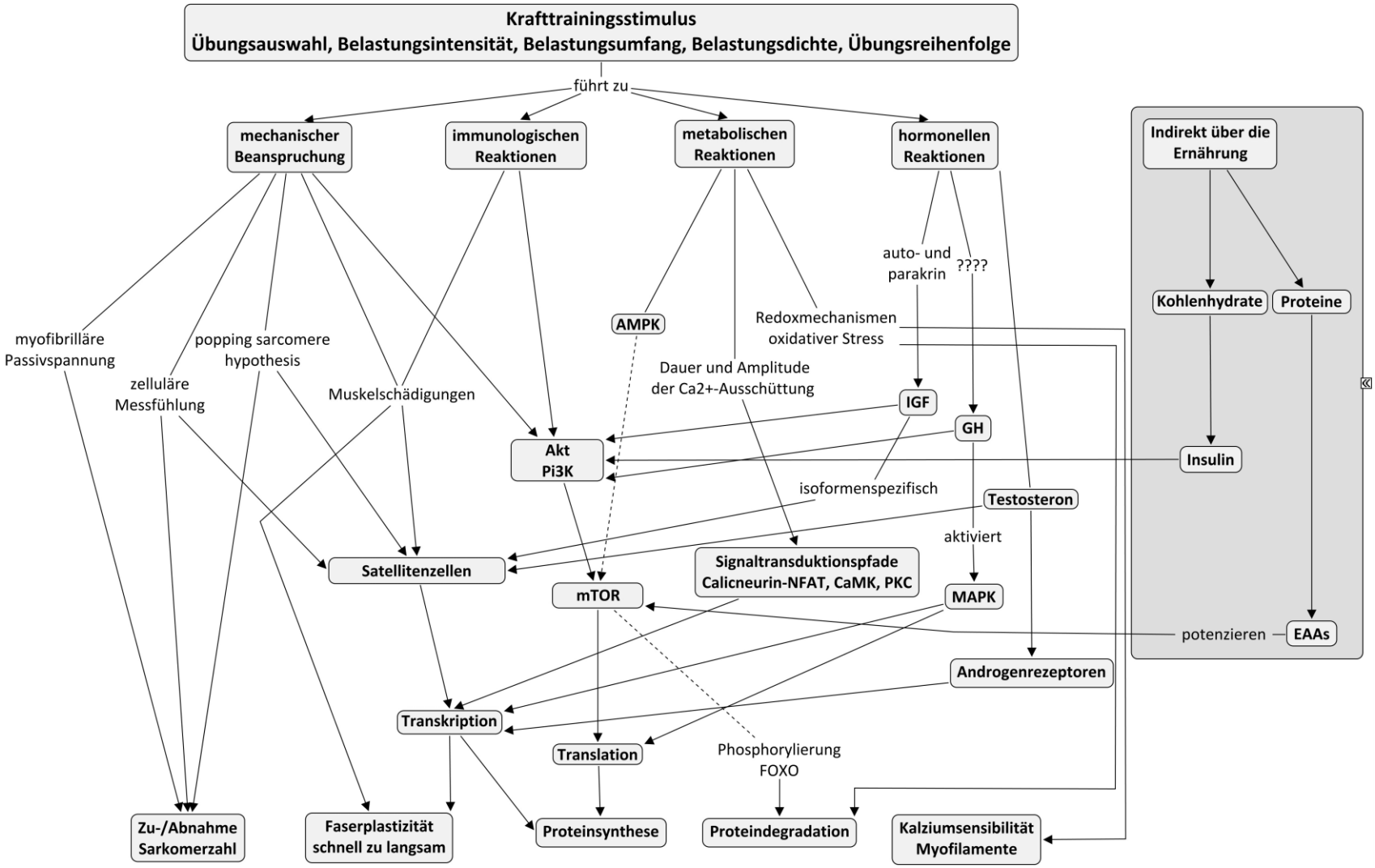

Abbildung 2-56: Zusammenfassende Darstellung von möglichen Determinanten der molekularen und zellulären Skelettmuskeladaptation, Erläuterungen s. Text.

2.3.5 Determinanten der Skelettmuskeladaptation

Die in Tabelle 2-20 dargestellten mechano-biologischen Determinanten werden im Folgenden mit molekularem und zellulärem Inhalt gefüllt. Der Schwerpunkt wird dabei auf Krafttrainingsinterventionen in Humanstudien liegen.

2.3.5.1 Spannungshöhe, Spannungsdauer und lokale Erschöpfung

In der Trainingspraxis wird die Spannungshöhe (x_1) durch die Trainingslast bestimmt, zumeist operationalisiert als Prozent des 1 RM, als Gewicht für ein Wiederholungsmaximum (WM, auch repetition maximum [RM]) oder als Prozent der isometrischen Maximalkraft (% MVC). Toigo (2006b) sieht in dieser Vorgehensweise mehrere Probleme:

1. eine hohe externe Last respektive geleistete Arbeit ist nicht zwangsläufig gleichbedeutend mit einer hohen Spannung im Zielmuskel;
2. die Testbedingungen (1 RM, MVC) weisen eine Kontraktionsspezifität und unterschiedliche koordinative Anforderungen auf;
3. unterschiedliche Übungsklassen (eingelenkig vs. mehrgelenkig; Trainingsmaschinen vs. Freihantelübungen Gottlob, 2008) verfügen über differierende Kraftkurven und folglich Belastungen in den Zielmuskeln.

Als Lösung wird die Bestimmung maximaler Drehmoment-Winkel-Kurven (maximum voluntary torque, MVT-Kurven) bei eingelenkigen Bewegungen und daraus folgend eine Ableitung des Trainingswiderstandes angesehen. Die Bestimmung von eingelenkigen MVT-Kurven ist in der Trainingspraxis zumeist nicht möglich und unter sportartspezifischen Gesichtspunkten problematisch (Harris, Cronin, & Keogh, 2007). Daher stellt unter praktischen Gesichtspunkten die Spannungshöhe (x_1) als Prozent des 1 RM eine akzeptable Lösung dar. Die Kombination der Spannungshöhe (x_1) mit Angaben zur Spannungsdauer (x_9) bis zur lokalen Erschöpfung (x_{10}) bei Berücksichtigung der Übungsausführung (x_{13}) gibt Aufschluss über die metabolische Belastung einer Krafttrainingsbelastung. Um die Vielzahl an Trainingsmethoden berücksichtigen zu können, ist ferner der Deskriptor x_{10} (lokale Erschöpfung) weiter zu differenzieren. Unter Berücksichtigung der mit zunehmender Ermüdung ebenfalls zunehmenden Rekrutierung von ME (vgl. Kapitel 2.3.1, Abbildung 2-39), ist der Aspekt der unterschiedlichen Belastungsabbruchkriterien zu berücksichtigen. Einen von Preuß et al. (2006) vorgestellten Lösungsansatz zeigt Tabelle 2-21.

Tabelle 2-21: Belastungsabbruchkriterien im Krafttraining (mod. nach Preuß et al., 2006).

	Belastungsabbruchkriterien im Krafttraining
subWZ	**submaximale Wiederholungszahl** Der Trainingssatz wird mit einer bestimmten Wiederholungszahl oder einem bestimmten subjektiven Belastungsempfinden beendet, wobei noch weitere Wiederholungen möglich wären.
WM	**Wiederholungsmaximum** Der Trainingssatz wird mit einer letztmöglichen, vollständig ausgeführten und technisch korrekten Wiederholung beendet.
PmM	**Punkt des momentanen Muskelversagens** Die Belastung wird mit dem konzentrischen Muskelversagen beendet.
PmM+	**Punkt des momentanen Muskelversagens plus Intensivtechniken** Es wird unter Verwendung von Intensitätstechniken über den PmM hinaus trainiert.

Basierend auf den Deskriptoren Spannungshöhe, Spannungsdauer und lokale Erschöpfung haben Toigo und Boutellier ein hypothetisches Modell zur Muskelermüdung entwickelt (Abbildung 2-57).

Das Modell zeigt drei konstruierte Situationen, in denen 10-sekündige Wiederholungen (4 sec. exzentrisch, 2 sec. isometrisch, 4 sec. konzentrisch) mit unterschiedlichen Lasten (% MVT) bis zum Wiederholungsmaximum ausgeführt werden. Je nach Belastungssituation werden gewisse prozentuale Kraftverluste pro Wiederholung bis zum ermüdungsbedingten Belastungsabbruch unterstellt:

a) mit 85% MVT (sekundäre y-Achse) können 3 Wiederholungen durchgeführt werden, der Kraftverlust pro Wiederholung beträgt 6% (primäre y-Achse),
b) mit 70% MVT (sekundäre y-Achse) können 9 Wiederholungen durchgeführt werden, der Kraftverlust pro Wiederholung beträgt 3.5% (primäre y-Achse),
c) mit 55% MVT (sekundäre y-Achse) können 18 Wiederholungen durchgeführt werden, der Kraftverlust pro Wiederholung beträgt 2.5% (primäre y-Achse).

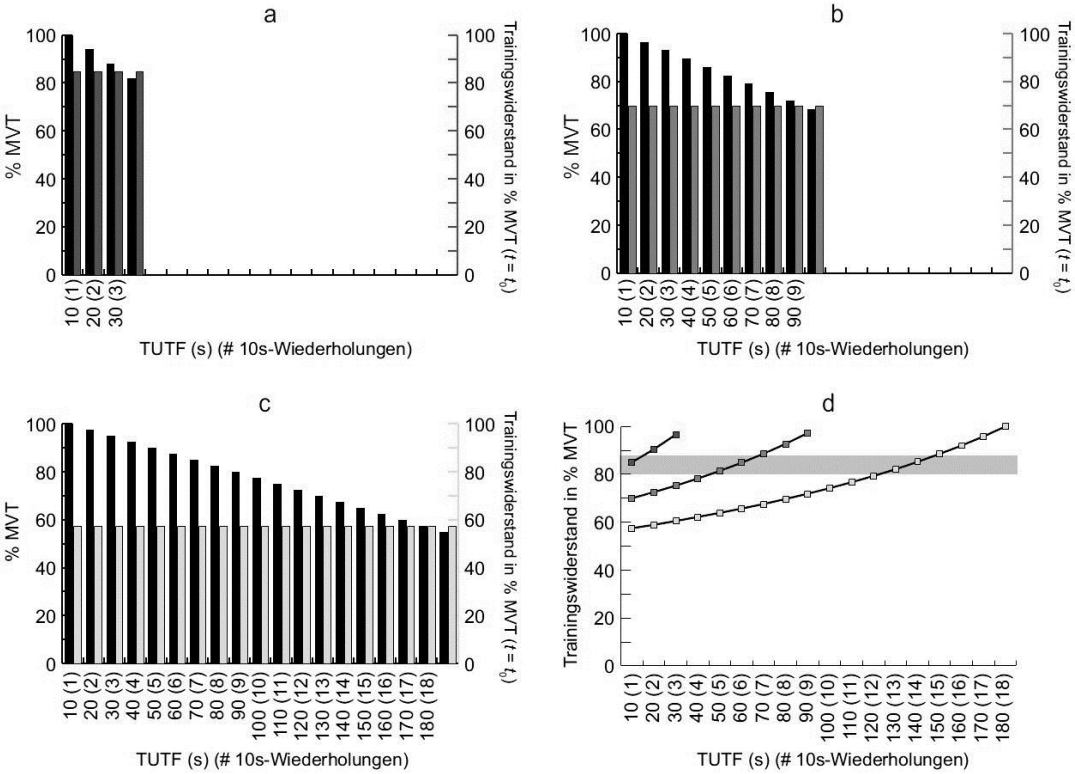

Abbildung 2-57: Hypothetisches Modell zur Muskelermüdung, zur Rekrutierung von Motorischen Einheiten (ME), und somit auch zur metabolischen Ausprägung des mechano-biologischen Reizes (MVT, maximum voluntary torque; TUTF, total time under tension until muscular failure; weitere Erläuterungen s. Text; Toigo, 2006b, S. 127).

Mit zunehmender Ermüdung nimmt die Rekrutierung der ME zu, eine vollständige Rekrutierung ist beim ermüdungsbedingten Belastungsabbruch erreicht. Die zeitliche Entwicklung bis zum Belastungsabbruch hängt hierbei sowohl von der relativen Trainingslast im Verhältnis zum MVT zum Zeitpunkt $t = t_0$ als auch der Muskelfaserzusammensetzung ab. Folglich kommt es in den Beispielen a bis c zu unterschiedlich langen Einsatzzeiten und letztendlich zu differierenden metabolischen Beanspruchungen der verschiedenen Muskelfasertypen (Toigo, 2006b,

S. 127). Wie Teil d der Abbildung 2-57 zeigt, ist unter Bedingung a die Rekrutierung bereits bei der ersten Wiederholung komplett, unter den Bedingungen b und c wird die volle Rekrutierung erst später erreicht. Grundlage für diese Annahme ist die Beobachtung, dass in den meisten Muskeln die Rekrutierung bei 85% F_{max} komplett ist, darüber hinaus erfolgt die Kraftsteigerung über die Frequenzierung (vgl. Kapitel 2.3.1 und Duchateau et al., 2006).

Die aufgezeigten Ermüdungsszenarien können durch unterschiedliche Rekrutierungs-Frequenzierungsmuster und Rekrutierungskinetik Einfluss auf die Erregungs-Transkriptionskopplung nehmen.

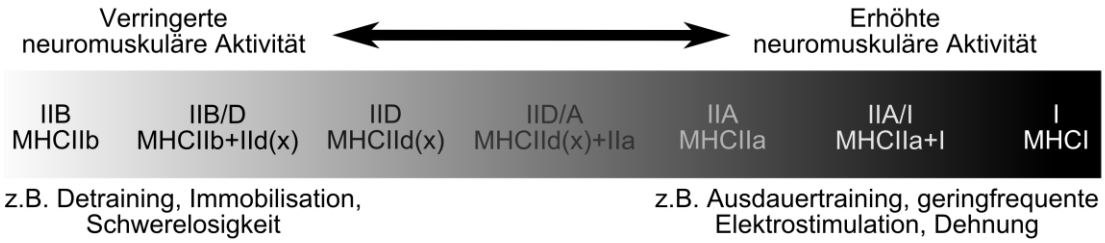

Abbildung 2-58: Vereinfachtes Schema des Faserspektrums und der Phänotypveränderungen durch neuromuskuläre Aktivität (mod. nach Pette, 2005).

So führt eine erhöhte neuromuskuläre Aktivität wie beispielsweise Ausdauertraining oder geringfrequente Elektrostimulation zu einer Faserverschiebung hin zu langsameren Phänotypen. Die Anzahl an Typ IIa and eventuell auch Typ I Fasern nimmt zu, begleitend steigt die Anzahl der Hybridfasern mit MHCIIa und MHCI Expression. Verringerte neuromuskuläre Aktivität wie Detraining oder Immobilisation führt zu einer Fasertransformation von langsamen zu schnellen Muskelfasertypen. Die Transformation unterliegt dabei der „nearest neighbor rule“, d.h. es erfolgt je nach neuromuskulärer Aktivität eine Veränderung zum nächstgelegenen schnelleren oder langsameren Fasertyp (Pette, 2005).

Andersen, Klitgaard und Saltin (1994) konnten bei männlichen Sprintern nach einem dreimonatigen intensiven Sprint- und Intervalltraining eine Muskelfaserverschiebung hin zum Typ IIa nachweisen. Die Anzahl der MHCI und MHCIId(x) Fasern nahm im Zuge der Verschiebung signifikant ($p < .05$) ab.

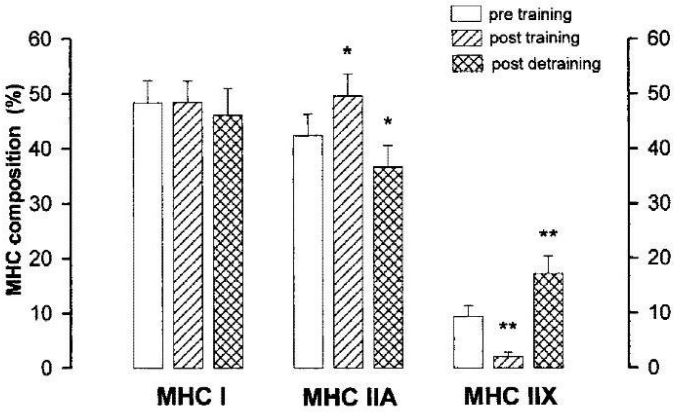

Abbildung 2-59: Die relative Verteilung von MHC Isoformen. *, signifikanter Unterschied in der MHC IIA Verteilung, post detraining < pre training < post training ($p < 0.05$); **, signifikanter Unterschied ($p < 0.01$) für die MHC IIx Verteilung, post detraining > pre training > post training. Werte als $M \pm SD$ ($n = 9$) (Andersen & Aagaard, 2000).

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Jansson, Esbjörnsson, Holm und Jacobs (1990) nach einem 4 bis 6-wöchigen Sprinttraining auf dem Radergometer bei 15 männlichen Sportstudenten. Die Typ I Fasern nahmen von 57 % auf 48% signifikant ab ($p < .05$), im Gegenzug nahm der Anteil der Typ IIa Fasern von 32 % auf 38% signifikant zu. Der Anteil der seinerzeit als IIB und IIC bezeichneten Fasern blieb unverändert.

Andersen und Aagaard (2000) trainierten neun untrainierte Männer (27 ± 3 Jahre) über einen Zeitraum von drei Monaten mit 38 Krafttrainingseinheiten drei Mal pro Woche mit fünf Übungen (Hackenschmidt-Kniebeuge, 45° Beinpresse, Beinstrecken, Beinbeugen, Wadenheben) von 4-5 Sätzen à 6-15 RM. Direkt im Anschluss an das Training sowie drei Monate nach Trainingsende wurde unter anderem die Muskelfaserzusammensetzung betrachtet.

Direkt nach dem Training zeigt sich eine signifikante Zunahme der MHC IIa Isoformen, wohingegen die MHC IIx Isoformen signifikant abnehmen. Nach der dreimonatigen Detrainingsphase ist ein so genannter `overshoot´ der MHC IIx Isoformen zu erkennen (vgl. Abbildung 2-59). Die Beendigung des hochintensiven Trainigsstimulus mit Rückkehr zur überwiegend sitzenden Tätigkeit der Probanden könnte die standardmäßige MHC-IIx Anzahl wiederhergestellt haben, wobei der spezifische Mechanismus des `overshoots´ unbekannt bleibt.

Wie die beispielhaften Studien zeigen, führt Krafttraining über einen Zeitraum von 2-3 Monaten zu einer Faserverschiebung hin zu MHC IIa Fasertypen (Folland & Williams, 2007), wobei die Abnahme der MHC IIx keinen negativen Einfluss auf die Kraftzunahme zu haben scheint (Carroll, Abernethy, Logan, Barber, & McEniery, 1998).

> However, patterns of activity which recruit motor units in a fastphasic manner, and which might be expected preferentially to upregulate fast isoforms (such as through sprint, power and weight training), appear to have the opposite effect, in that they induce a downregulation of MHC-IIx isoforms. (Harridge, 2007, p. 791)

Die zugrundeliegenden Mechanismen sind sowohl in der neuromuskulären Aktivität als auch der mechanischen Belastung zu finden, die ihrerseits Kaskaden der Up- und Down-Regulation von Genen in Gang setzen können (zur Vertiefung (Pette, 2005; Haddad, Pandorf, Giger, & Baldwin, 2006; Schiaffino, Sandri, & Murgia, 2006).

Auf Basis eines Reviews von Willardson (2007) lässt eine höhere muskuläre Ausbelastung bis zum Punkt des momentanen Muskelversagens (PmM) für eines Maximalkraft- und Muskelquerschnitttrainings über sechs Wochen größere Trainingseffekte erwarten. Neben der besprochenen Rekrutierung sind zusätzliche höhere Auslenkungen anaboler Hormone zu finden (Izquierdo, Gonzalez-Badillo, Hakkinen, Ibanez, Kraemer, Altadill et al., 2006; Goldspink, Scutt, Loughna, Wells, Jaenicke, & Gerlach, 1992).

Folland und Kollegen (Folland, Irish, Roberts, Tarr, & Jones, 2002) stellten in einer neunwöchigen Studie bei einem Training bis zum Wiederholungsmaximum (4 Sätze à 10 Wdh. mit 30 sec. Satzpause) gegenüber einem Training mit minimaler metabolischer Beanspruchung (40 Wdh. mit je 30 sec. Wiederholungspause) keine Unterschiede in der isometrischen und isokinetischen Maximalkraft fest. Hinsichtlich der muskulären Leistung zeigten nach einem 11-wöchigen Aufbautraining mit maximalen gegenüber submaximalen Wiederholungszahlen und anschließender fünfwöchiger Taperingphase die submaximalen Belastungen höhere Leistungswerte der unteren Extremitäten (Izquierdo, Ibanez, Gonzalez-Badillo, Hakkinen, Ratamess, Kraemer et al., 2006). Peterson, Rhea und Alvar (2005) bestätigen in ihrer Meta-Analyse den Nutzen eines Trainings bis zum PmM zur Verbesserung der Maximalkraft nicht. Wie gezeigt werden konnte, liegen für die Effektivität des Deskriptors Muskelerschöpfung (x_{10}) unterschiedliche Ergebnisse vor.

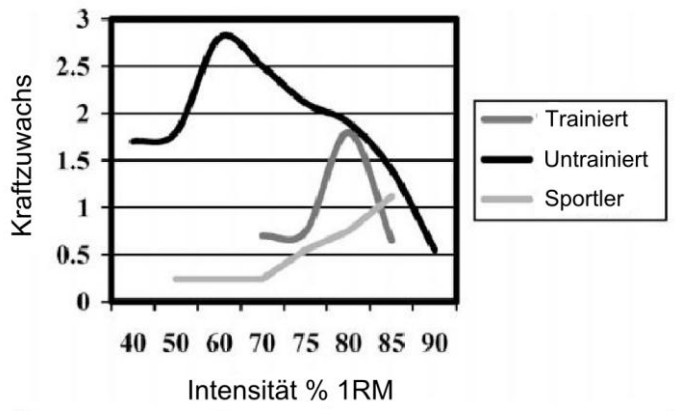

Abbildung 2-60: Intensität in % 1 RM und Kraftzuwachs (mod. Peterson et al., 2005, p. 952).

Bezüglich der Spannungshöhe führen hohe Lasten zu einer größeren Kraftsteigerung als mittlere und geringe Lasten, wohingegen geringe Lasten die Kraftausdauer stärker verbessern als mittlere und hohe Lasten. Der Muskelquerschnitt wird von hohen und mittleren Lasten beeinflusst, die aerobe Leistung steigt bei geringen Lasten mit hoher Wiederholungszahl (Campos, Luecke, Wendeln, Toma, Hagerman, Murray et al., 2002). Aufbauend auf die Untersuchung von Campos und Kollegen (2002) konnten Léger et al. (Léger, Cartoni, Praz, Lamon, Dériaz, Crettenand et al., 2006) nach einem 8-wöchigen Krafttraining mit 2-3 Trainingseinheiten pro Woche keinen Unterschied zwischen einem Maximalkrafttraining (4 x 3-5 RM, 3 min. Satzpause) und Kraftausdauertraining (2 x 20-28 RM, 1 min. Satzpause) hinsichtlich der Aktivierung des Akt-Signalweges feststellen. Beide Trainingsmethoden führten zu einem signifikanten Anstieg ($p < .01$) der Akt-Phosphorylierung um das 1.4-fache des Ausgangswertes mit korrespondierender Muskelhypertrophie.

Der Einfluss von unterschiedlichen Intensitäten im Krafttraining auf die Signalprozesse wurde von Bowtell et al. (Bowtell, Park, Smith, Cuthbertson, Waddell, & Rennie, 2003) betrachtet. Die Autoren konnten unter isometrischen Bedingungen zeigen, dass Belastungsintensitäten von 65%, 75% und 90% der Maximalkraft bei gleichem ATP-Umsatz 150 min nach Trainingsende keine Unterschiede in der Stimulation der Proteinsynthese zeigten. Ergebnisse aus Elektrostimulationsstudien bei Ratten weisen darauf hin, das hohe Lasten, simuliert durch hohe Stimulationsfrequenzen, den Akt-mTOR-Signalweg aktivieren, wohingegen geringe Lasten, simuliert durch geringe Frequenzen, die AMPK-Aktivität steigern und somit Hypertrophieanpassungen hemmen und Ausdaueranpassungen fördern (Nader & Esser, 2001; Atherton, Babraj, Smith, Singh, Rennie, & Wackerhage, 2005). Die optimale Trainingsintensität für Kraftzuwächse scheint bei Trainierten und Athleten bei 80-85% des 1RM zu liegen (vgl. Abbildung 2-60). Für ein Muskelaufbautraining ist der Bereich mit 70-100% in Abhängigkeit vom angestrebten Wiederholungsbereich weiter gefächert (Ratamess et al., 2009).

2.3.5.2 Übungsausführung und Bewegungsumfang

Um Unterschiede der muskulären Ausbelastung, Spannungshöhe und Intensitäten beurteilen zu können, ist die anatomische Übungsausführung (Deskriptor x_{13}) zu definieren und der Bewegungsumfang (Deskriptor x_{11}, range of motion [ROM]) zu standardisieren. Als weitere Deskriptoren, die in Tabelle 2-20 fehlen, sind die Übungsauswahl und -reihenfolge zu berücksichtigen (vgl. hierzu Tabelle 2-23).

Eine Veränderung der relativen Gelenkwinkel der beteiligten Gelenke zueinander sowie der Orientierung des Körpers zur Erdanziehungskraft resultieren in einer anderen Belastung der beteiligten Muskulatur (Enoka, 2008). Hierzu zählen auch Veränderungen der Griffposition, Griffweite und Standbreite (Ratamess et al., 2009). Zatsiorsky (Zatsiorsky, 1996) zeigt, dass sich die Netto-Kraftmomente des Kniegelenks bei der Kniebeuge in Abhängigkeit von der

Rumpfposition ändern. Der Bewegungsumfang (Deskriptor x_{11}, ROM) kann Auswirkungen auf die serielle Sarkomerzahl haben (vgl. Kapitel 2.3.4). Unter leistungssportlichen Gesichtspunkten kann die Grundidee darin bestehen, die Kraft nur in dem Bereich der Wettkampfübung zu trainieren. Gewöhnlich sind dies Extrempunkte der Gelenkwinkel, in denen die maximale Muskelaktivität gefordert ist (Zatsiorsky & Kraemer, 2008, pp. 163–165). Das Training in einem partiellen Bereich der Bewegungsamplitude (partial range of motion [ROM]) kann positiven Einfluss auf die Kraftentwicklung im gesamten Bewegungsbereich haben (Massey, Vincent, Maneval, & Johnson, 2005; Massey, Vincent, Maneval, Moore, & Johnson, 2004; Graves, Pollock, Jones, Colvin, & Leggett, 1989; Graves, Pollock, Leggett, Carpenter, Fix, & Fulton, 1992). Eine Verringerung des Bewegungsbereiches führt zu einem sukzessiven Anstieg der konzentrischen F_{max}, wobei sich trotz höherer Lasten die geleistete Arbeit verringert (Clark, Bryant, & Humphries, 2008). Die Übungsauswahl (Deskriptor x_{14}), d.h. die bei einer Übung eingesetzte Muskelmasse, beeinflusst die metabolischen und hormonellen Antworten auf einen Krafttrainingsreiz (Kraemer & Ratamess, 2005). So konnten Hansen, Kvorning, Kjaer, und Sjogaard (2001) zeigen, dass ein Training großer Muskelgruppen vor dem Training kleiner Muskelgruppen zu höheren hormonellen Auslenkungen und somit Kraftzuwächsen führt als das Training kleiner Muskelgruppen allein. In vitro kann beispielsweise die translationale Effizienz des mTOR Signalweges (Rommel, Bodine, Clarke, Rossman, Nunez, Stitt et al., 2001) und der Satellitenzellenaktivierung (Hawke, 2005) erhöht werden.

Die Übungsreihenfolge (Deskriptor x_{15}) in einer Krafttrainingseinheit beeinflusst die Leistung, Kraftentwicklung und Ermüdung (Simão, de Farinatti, Polito, Maior, & Fleck, 2005; Augustsson, Thomee, Hornstedt, Lindblom, Karlsson, & Grimby, 2003; Sforzo & Touey, 1996; Maynard & Ebben, 2003). Die muskuläre Aktivierung und metabolische Ermüdung sind für den Leistungsverlust im Laufe einer Trainingseinheit verantwortlich. Spreuwenberg et al. (2006) konnten allerdings zeigen, dass zuvor ausgeführte Schnellkraftübungen die Leistung (Power) in der Kniebeuge verbessern konnten. Als Mechanismus wird die Post-Aktivierungs-Potenzierung diskutiert (Spreuwenberg et al., 2006). Letztendlich hängt der Einfluss auf die Signalwege von der Veränderung in der Belastungskonfiguration (Intensität, Volumen, Pausendauer) und deren möglichen Auswirkungen ab (Spiering et al., 2008; Ratamess et al., 2009).

2.3.5.3 Satz- und Wiederholungszahl, Satz- und Wiederholungspause

Weitere Faktoren, die auf mechano-biologische Determinanten wirken, sind die Anzahl der Wiederholungen (Deskriptor x_2) und Sätze (Deskriptor x_3) mit den jeweiligen Pausen zwischen den Wiederholungen (Deskriptor x_8) und den Sätzen (Deskriptor x_4). Diese sind immer in Zusammenhang mit der Spannungshöhe zu betrachten und es wird in den weiteren Betrachtungen folglich von Veränderungen im Trainingsvolumen[7] gesprochen (Spiering et al., 2008). Veränderungen im Trainingsvolumen beeinflussen hormonelle (Kraemer et al., 1990), neuronale (Häkkinen, 1989) und metabolische Antworten (Ratamess, Falvo, Mangine, Hoffman, Faigenbaum, & Kang, 2007; Haddock & Wilkin, 2006) auf ein Krafttraining. Explizite Studien zu unterschiedlichen Trainingsvolumina liegen aus Tierversuchen vor. Die für ein Krafttraining unüblichen Belastungskonfigurationen lassen jedoch keinen Übertrag auf zu erwartende Anpassungen bei Menschen zu (Spiering et al., 2008). Eng verknüpft mit dem Trainingsvolumen ist die Diskussion um die optimale Satzzahl im Krafttraining (Übersichten bei Peterson et al., 2005, Peterson, Rhea, & Alvar, 2004; Fröhlich & Schmidtbleicher, 2008; Rhea, Alvar, Burkett, & Ball,

[7] Zur Diskussion der Methoden zur Bestimmung des Trainingsvolumens siehe McBride et al. (2009).

2003; Rhea, Alvar, & Burkett, 2002). Bei Sportlern zeigen 8 Sätze pro Muskelgruppe die größten Effekte (vgl. Abbildung 2-61), wobei nicht für jede Übung gleich viele Sätze ausgeführt werden müssen. Gonzalez-Badillo, Gorostiaga, Arellano und Izquierdo (2005) konnten zeigen, dass ein moderates Trainingsvolumen (ca. 85% des maximal tolerierbaren Volumens) zu den größten Trainingseffekten führt. Ferner könnte das optimale Trainingsvolumen von den trainierten Muskelgruppen abhängig sein. Für die Muskulatur des Unterkörpers scheint ein höheres Trainingsvolumen für Kraft- und Muskelmassezuwächse erforderlich zu sein als für die Oberkörpermuskulatur (2007). Ein Grund hierfür könnte in der größeren Anzahl an Androgenrezeptoren in der Oberkörpermuskulatur zu suchen sein.

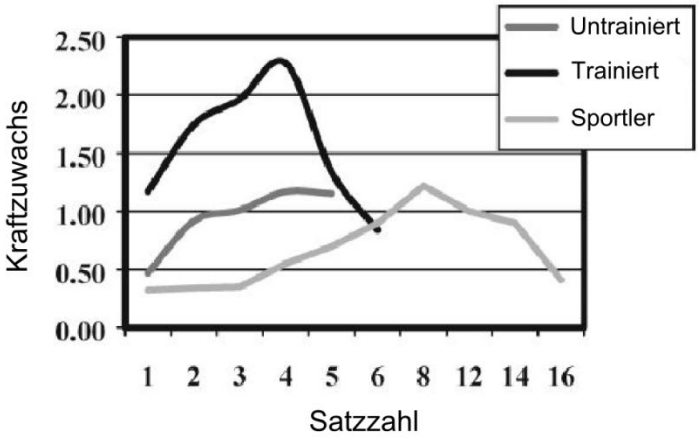

Abbildung 2-61: Satzzahl pro Muskelgruppe und Kraftzuwachs (mod. Peterson et al., 2005, p. 952)

Ein hohes Trainingsvolumen führt zu einer stärkeren Glykogenausschöpfung des Muskels und erhöht somit die AMPK-Aktivität, die wiederum die Akt-Signalkette hemmt und somit die Proteinsynthese beeinflusst (Steinberg, Watt, McGee, Chan, Hargreaves, Febbraio et al., 2006; Churchley, Coffey, Pedersen, Shield, Carey, Cameron-Smith et al., 2007; Creer, Gallagher, Slivka, Jemiolo, Fink, & Trappe, 2005). Unklar ist, inwiefern eine kurzfristige, ein- bis zweistündig erhöhte AMPK-Aktivität das langfristige Muskelwachstum beeinflusst. Dreyer et al. (Dreyer, Fujita, Cadenas, Chinkes, Volpi, & Rasmussen, 2006) fanden während und im Anschluss an 10 Sätze isokinetisches Beinstrecken à 10 Wiederholungen bei 70% des 1 RM eine um 75% signifikant erhöhte AMPK-Aktivität mit einhergehender signifikanter Reduktion der 4EBP1-Phosphorylierung um 36%. Ein bis zwei Stunden nach Trainingsende erhöhte sich die Proteinsynthese mit einer korrespondierenden Aktivierung von PKB, mTOR, S6K1 und eEF2 (zur Verdeutlichung der Signalwege s. Abbildung 2-56).

Die Pausenlänge zwischen einzelnen Wiederholungen und Sätzen hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Eine Wiederholungspause wird lediglich im Schnellkrafttraining empfohlen, um eine optimale Ausführungsqualität zu gewährleisten (Ratamess et al., 2009) sowie eine geringere metabolische Beanspruchung (Folland et al., 2002) und einen geringen Kraftverlust (Fujita, Mikesky, Sato, & Abe, 2007) zu sichern.

In einem Übersichtsartikel gibt Willardson (2006) Empfehlungen für Satzpausenzeiten im Krafttraining. Ist Maximalkraft das Ziel, sind Pausen von 3 bis 5 Minuten empfohlen, um eine Reduktion der Spannungshöhe zu vermeiden. Gleiches gilt für ein Schnellkrafttraining, nur das hier die Aufrechterhaltung der Leistung (Power) im Vordergrund steht. Ein Muskelaufbautraining sollte eine Kombination von kurzen Satzpausen (30 bis 60 sec.) bei mittlerer bis hoher Spannungshöhe anstreben. Kurze Satzpausen führen während und im Anschluss einer Trainingseinheit zu einer vermehrten Wachstumshormonausschüttung (Gotshalk et al., 1997), beeinträchtigen aber langfristige Kraftzuwächse aufgrund der ermüdungsbedingten geringeren

Lasten im Laufe der Trainingseinheit (Robinson, Stone, Johnson, Penland, Warren, & Lewis, 1995). Im Hinblick auf Signalprozesse führen kurze Satzpausen zu einer höheren AMPK-Aktivität und können so die Proteinsynthese beeinflussen. Inwiefern eine kurzfristige, ein- bis zweistündig erhöhte AMPK-Aktivität im Anschluss an das Training sich im Hinblick auf langfristige Adaptationen auswirkt, bleibt auch in diesem Zusammenhang unklar (Spiering et al., 2008). So konnten Ahtiainen, Pakarinen, Alen, Kraemer und Häkkinen (2005) für Testosteron, Cortisol und GH keine Unterschiede in den basalen und akuten Reaktionen bei 2 oder 5 Minuten Satzpause im Rahmen eines 6-monatigen Muskelaufbautrainings feststellen.

2.3.5.4 Kontraktionsform

Sauerstoffversorgung und -verbrauch des Muskels hängen sowohl von den Pausenzeiten als auch der Kontraktionsarten (Deskriptor x_7) ab. Krafttraining stört die myozellulare Sauerstoffhomöostase, schränkt die Versorgung des Muskels mit Substraten ein und verhindert den Abtransport der Metaboliten. Mit zunehmendem intramuskulärem Druck (zwischen 35-50% F_{max}) vermindert sich die Blutversorgung des Muskels (Enoka, 2008). Die Bedeutung der Ermüdung und der Anhäufung von Metaboliten für Kraft- und Muskelzuwächse haben Rooney, Herbert und Balnave (1994), Schott und Rutherford (1995) sowie Goto, Ishii, Kizuka und Takamatsu (2005) verdeutlicht. Hoffmann et al. (2003) konnten zeigen, dass im dynamischen Krafttraining nicht die Höhe der Belastung ausschlaggebend für das Sauerstoffdefizit ist, sondern die Länge der Unterbrechung der Blutversorgung. Sie verglichen hochvolumiges, geringintensives (low intensity [LI]: 4 Sätze à 15 Wdh. mit 60% 1 RM) mit einem geringvolumigen, hochintensiven (high intensity [HI]: 4 Sätze à 4 Wdh. mit 90% 1 RM) hinsichtlich der Hämoglobin/Myoglobin Oxygenation/Reoxygenation, dem Blutlaktat, des Testosterons und dem Wachstumshormon (22-kDa GH).

> The prolonged ischemic response seen after LI, reflected by the greater delay in muscle reoxygenation, resulted in a greater growth hormone response than that seen after HI. In addition, lactate concentrations were 58% higher after LI than after HI, presumably a result of the local tissue hypoxia caused by elevated intramuscular pressure. (Hoffmann et al., 2003, pp. 1932-1933)

Besondere Aufmerksamkeit erfährt die Ermüdung und die Anhäufung von Metaboliten im so genannten `ischämischen Krafttraining´. Mittels geeigneter Manschetten wird die Blutzufuhr der trainierten Extremität unterbunden, um selbst bei geringen Intensitäten (20% 1 RM) ebenbürtige Kraft- und Muskelzuwächse zu initiieren. Zur Vertiefung sei auf einen Übersichtsartikel von Wernbom (2008) verwiesen.

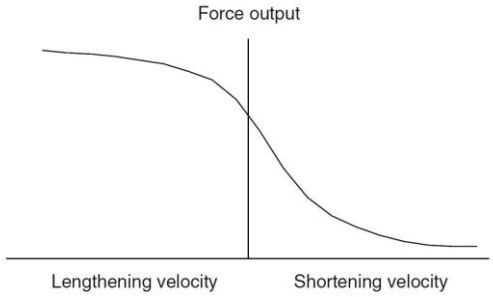

Abbildung 2-62: Schematische Darstellung der Kraft-Geschwindigkeits-Relation im Muskel für konzentrische und exzentrische Kontraktionen (Crewther, Cronin, & Keogh, 2005, p. 977).

Die fraktionelle Verteilung von konzentrischer und exzentrischer Kontraktionsformen (Deskriptor x_7) ist ebenfalls von Bedeutung. Bei exzentrischen Kontraktionen können größere Kräfte aufgebracht werden als bei konzentrischer Arbeit. Die Gründe hierfür liegen in den elastischen Komponenten des Muskel-Sehnen-Komplexes. Die Dehnung der Querbrücken erzeugt zusätzlich zur aktiven Kraft noch eine passive Kraftkomponente (Herzog, 2000). Im Gegensatz zur konzentrischen Arbeitsweise entstehen bei zunehmend schnellerer

exzentrischer Arbeit höhere Kräfte, da sowohl Kraft als auch Beschleunigung zunehmen (vgl. Abbildung 2-62, Zatsiorsky & Kraemer, 2008). Der Energieverbrauch ist bei exzentrischen Kontraktionen aufgrund der passiven Kräfte und der geringeren Aktivierung der ME (vgl. Kapitel 2.3.1) niedriger als bei der konzentrischen Arbeitsweise (Dudley, Tesch, Harris, Golden, & Buchanan, 1991; Hollmann et al., 2009). In diesem Zusammenhang wird eine selektive Rekrutierung höherrangiger ME vermutet (Enoka, 1996), die bei supramaximalen exzentrischen Belastungen zu erhöhten muskulären Schädigungen und Muskelkater (DOMS, delayed onset muscle soreness) führt (Crewther et al., 2005).

Eliasson et al. (2006) konnten zeigen, dass maximale exzentrische Kontraktionen im Vergleich zu maximalen konzentrischen und submaximal exzentrischen Kontraktion zu einer stärkeren, vom Akt-Signalweg unabhängigen, *p70 S6 Kinase* (p70 S6K) Phosphorylierung führen. Als auslösende Faktoren wird die Kombination von größerer Spannung und Dehnung betrachtet. Darüber hinaus wird bei exzentrischen Kontraktionen MAPK stärker aktiviert (Long, Widegren, & Zierath, 2004). Die zeitliche Verlängerung (Hollmann et al., 2009; Kelso, 2000) bzw. eine höhere Belastung (Bishop & Kaminski, 2005) der exzentrischen Bewegungsphase lässt einen zusätzlichen Kraftzuwachs erwarten. Bezüglich einer Verlängerung der exzentrischen Phase von 2 auf 4 Sekunden konnten Remmert, Brcko und Hennig (2007) im Rahmen eines 10-wöchigen Einsatz-Trainings keine Unterschiede feststellen. Paddon-Jones, Leveritt, Lonergan und Abernethy (2001) hingegen konnten nach schnellem exzentrischen Training signifikant höhere Kraftwerte als nach konzentrischem isokinetischen Training zeigen, die mit einer prozentualen Typ II Faserzunahme einhergingen. Farthing und Chilibeck (2003) bestätigen diese Untersuchungsergebnisse und führen den größeren Hypertrophieeffekt schneller exzentrischer Kontraktionen auf stärkere muskuläre Schädigungen mit nachfolgender Proteindegradation zurück. Chapman, Newton, Sacco und Nosaka (2006) fanden bei parallelisierter Spannungsdauer größere muskuläre Schädigungen bei schnellen im Vergleich zu langsamen exzentrischen isokinetischen Kontraktionen. Für konzentrische, auxotonische Kontraktionen konnten Tran, Doherty und Behm (2006) zeigen, dass eine höhere konzentrische Spannungsdauer zu einer stärkeren akuten peripheren Ermüdung führt. Unter der Prämisse eines nicht zu stark reduzierten Trainingsvolumens könnten mit einer höheren konzentrischen Spannungsdauer langfristig höhere Kraft- und Muskelmassenzunahmen zu erwarten sein.

2.3.5.5 Trainingsfrequenz, -periodisierung und -variation

Schlussendlich haben die Anzahl der Trainingseinheiten (Deskriptor x_5), die Dauer der Trainingsperiode (Deskriptor x_6) und die Trainingsvariation (Deskriptor x_{14}) einen Einfluss auf die Ergebnisse von Krafttrainingsinterventionen. Die optimale Trainingsfrequenz für ein Muskelaufbautraining scheint zwischen 2 bis 3 Trainingseinheiten pro Woche und Muskelgruppe zu liegen (vgl. Abbildung 2-63, Ratamess et al., 2009).

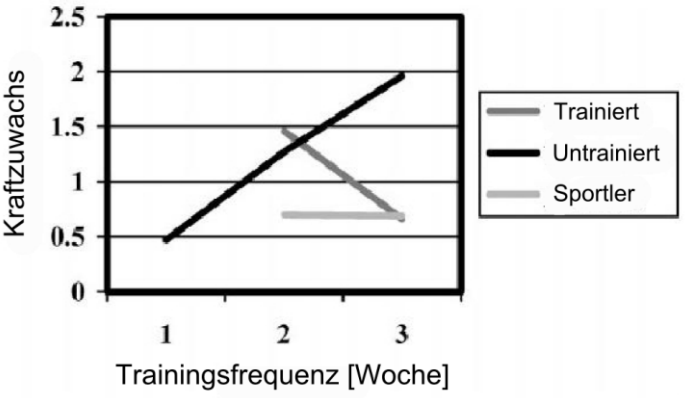

Abbildung 2-63: Trainingsfrequenz pro Muskelgruppe und Kraftzuwachs (mod. Peterson et al., 2005, p. 952).

> Higher frequency of RT [resistance training] has been suggested for advanced hypertrophy training. However, only certain muscle groups are trained per workout with a high frequency. (Ratamess et al., 2009, p. 695)

Wernbom, Augustsson und Thomee (2007) stützen diese Empfehlungen, weisen aber darauf hin, dass die Trainingsfrequenz und andere Deskriptoren bei Sportlern deutlich variieren können und individuell angepasst werden müssen.

Die Dauer einer Trainingsintervention hat Einfluss auf die Kraft- und Muskelquerschnittzuwächse.
Wernbom et al. (2007) konnte für die vordere Oberschenkelmuskulatur einen prozentualen Querschnittzuwachs von im Mittel 0.11 % pro Woche (durchschnittliche Studiendauer 84 Tage) feststellen, die Armbeuger zeigten einen Zuwachs von im Mittel 0.2 % pro Woche (durchschnittliche Studiendauer 90 Tage). Die relativen Kraft- und Muskelquerschnittzuwächse nahmen mit zunehmender Trainingsdauer ab, wobei die neuronalen Adaptationen zu Beginn eines Krafttrainings den größeren Beitrag zur Kraftverbesserung leisten (vgl. Abbildung 2-64).

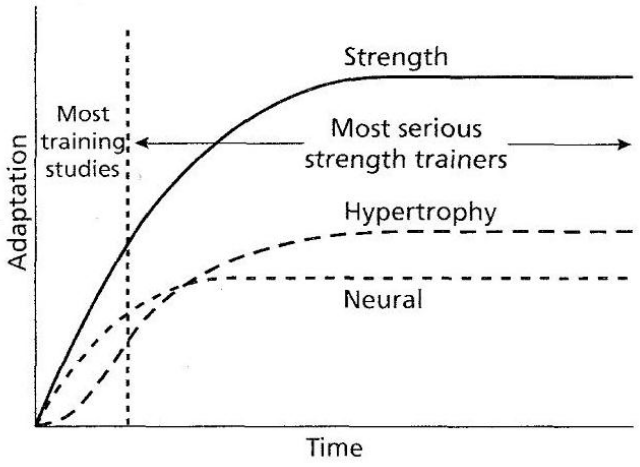

Abbildung 2-64: Die relative Bedeutung von neuronalen und muskulären Anpassungen an Krafttraining (Sale, 2003, p. 305).

Peterson et al. (2005) sprechen in diesem Zusammenhang von Prinzip der abnehmenden Grenzerträge, welches aus der Ökonomie bekannt ist.

> Concerning muscular development, we may consider strength improvement as the product, and dose of training, the input. The change in strength adaptation associated with a 1-unit change in training dosage per unit of time is, therefore, known as the marginal product of strength. (Peterson et al., 2005, p. 954)

Neben der Trainingsdauer hat zusätzlich der Trainingsstatus einen Einfluss auf die beobachtbaren Kraft- und Muskelzuwächse und ist als Deskriptor zu berücksichtigen. Mit zunehmendem Trainingsniveau muss der Trainingsreiz für eine Leistungsverbesserung zunehmen, bis das Verhältnis von Aufwand und Ertrag maximal ist (Abbildung 2-65, Punkt A, maximale Steigung der Funktion (a)). Überschreitet der

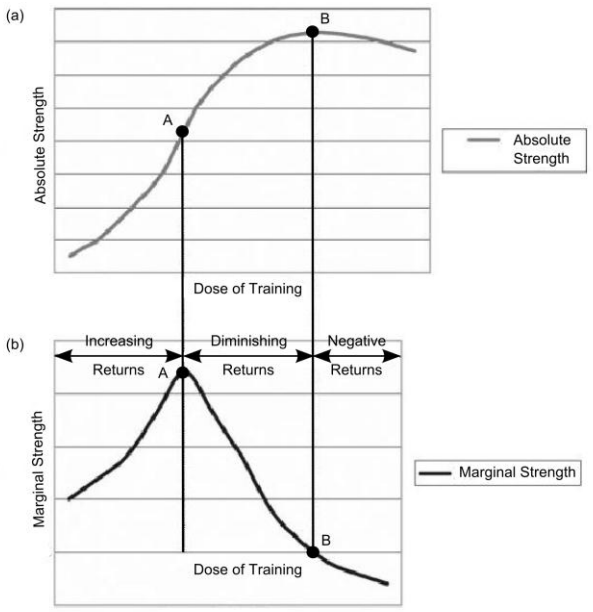

Abbildung 2-65: (a) Absolute strength function curve. (b) Marginal strength function curve (mod. nach Peterson et al., 2005).

Trainingsreiz (Input) den Punkt A, so wird es zwar weiterhin zu Verbesserungen kommen, aber der Kraftzuwachs (Output) wird geringer, d.h. der Ertrag sinkt. Punkt B in Abbildung 2-65 stellt den Grenzertrag da, d.h. das Kraftniveau erreicht ein Plateau und kann sich bei weiter erhöhten Input verschlechtern (zu ökonomischen Betrachtungen in der Sportwissenschaft s. auch Fröhlich, Emrich, Büch, & Gießing, 2008).

Neben der rein quantitativen Betrachtungsweise sind qualitative Deskriptoren wie lokale Erschöpfung (Deskriptor x_{10}) und die fraktionelle und temporale Verteilung der Kontraktionsarten zu berücksichtigen (Deskriptor x_7).

Die Überlegungen zu Grenzerträgen im Krafttraining führen zwangsläufig zur Trainingsvariation (Deskriptor x_{14}). Hierbei hat sich eine Periodisierung des Krafttrainings einem nicht-periodisierten Krafttraining als überlegen erwiesen (Rhea & Alderman, 2004). Es lassen sich drei unterschiedliche Periodisierungskonzepte klassifizieren (Ratamess et al., 2009):

1. klassische Periodisierung,
2. reverse Periodisierung und
3. sprunghafte Periodisierung.

Zur Vertiefung sei auf weiterführende Literatur verwiesen (Stone, Stone, & Sands, 2007; Fleck & Kraemer, 2004; Kraemer & Fleck, 2007; Zatsiorsky & Kraemer, 2008; Hartmann, Bob, Wirth, & Schmidtbleicher, 2008). Abbildung 2-66 zeigt eine exemplarische klassische Periodisierung mit Hypertrophie- und Schnellkrafttraining in der Vorbereitungsphase.

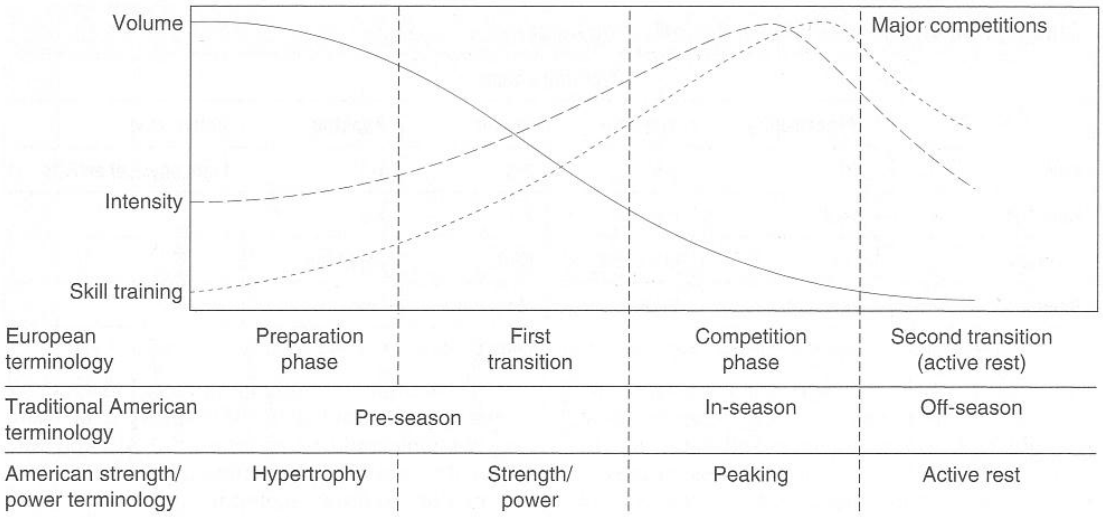

Abbildung 2-66: Strength/power training model pattern of volume intensity (Fleck & Kraemer, 2004, p. 213).

Aufgrund zu erwartender Deckeneffekte ist die Trainingsmethode alle 3 bis 12 Wochen zu variieren (vgl. Tabelle 2-21; Grosser, Starischka, Zimmermann, & Eisenhut, 2008).

Wie gezeigt werden konnte, wirkt Krafttraining auf vielfältige neuromuskuläre und morphologische Adaptationsmechanismen. Ein Hypertrophie orientiertes Krafttraining, welches mit dem Ziel betrieben wird, die muskuläre Leistung zu verbessern, muss sowohl neuronale als auch morphologische Adaptationen berücksichtigen.

Tabelle 2-22: Zeitspannen für Trainingswirkungen im Krafttraining (Erfahrungswerte) (Grosser et al., 2008, S. 83).

Belastungsart	Erste deutliche Verbesserung nach	Deckeneffekt nach
Hypertrophietraining	15-18 TE 4-5 Wochen	40-48 TE 10-12 Wochen
IK-Training	9-12 TE 3-4 Wochen	24-32 TE 6-8 Wochen
Spezifische Schnellkraft (Intermuskuläre Koordination)		6-9 TE 3-4 Wochen

IK-Training, Intramuskuläres Koordinationstraining; TE, Trainingseinheiten.

Anhand mechano-biologischer Deskriptoren wurden mögliche Einflussfaktoren auf Signalwege und beobachtbare Kraftzuwächse dargestellt. Auffällig ist die lückenhafte und uneinheitliche Benennung der quantitativen und qualitativen Trainingsstimuli, die eine Bewertung der vorliegenden Studienergebnisse erschwert. Auf zellulärer Ebene wird ein Mangel an in vivo Studien deutlich. Für die vorliegende Untersuchung wird neben der sportmotorischen Erfassung der isometrischen und konzentrisch-dynamischen Maximalkraft die Erfassung der Schnellkraft sowie der muskulären Leistung im Vordergrund stehen.

Tabelle 2-23 gibt eine Übersicht der dargestellten und diskutierten mechano-biologischen Deskriptoren, wobei aus Sicht des Autors notwendige Ergänzungen vorgenommen werden.

Tabelle 2-23: Ergänzte mechano-biologische Determinanten für trainingsinduzierte qualitative und quantitative Skelettmuskelremodellierung (mod. nach Toigo & Boutellier, 2006 und Preuß et al., 2006).

Mechano-biologische Deskriptoren			
Klassische Deskriptoren		**Neue und ergänzte Deskriptoren**	
x_1	Spannungshöhe (z.B. % 1 RM)	x_7	Fraktionelle und temporale Verteilung der Kontraktionsarten pro Wiederholung und Dauer (sec.) einer Wiederholung
x_2	Anzahl Wiederholungen	x_8	Pause zwischen intermittierenden Wiederholungen (sec., min.)
x_3	Anzahl Sätze	x_9	Spannungsdauer (sec., min.)
x_4	Pause zwischen den Sätzen (sec., min.)	x_{10}	Muskelerschöpfung (subWZ, WM, PmM, PmM+)
x_5	Anzahl der Trainingseinheiten (Tag, Woche)	x_{11}	Bewegungsumfang (range of motion, ROM)
x_6	Dauer der Trainingsperiode (Tage, Wochen)	x_{12}	Erholungszeit zwischen den Trainingseinheiten (h, Tage)
		x_{13}	Anatomische Definition der Übungsausführung (Trainingsqualität)
		x_{14}	Übungsauswahl
		x_{15}	Übungsreihenfolge

1 RM, one repetition maximum; subWZ, submaximale Wiederholungszahl; WM, Wiederholungsmaximum (repetition maximum); PmM, Punkt des momentanen Muskelversagens; PmM+; Punkt des momentanen Muskelversagens + Intensitätstechniken.

2.4 Muskuläre Leistung und ihre Operationalisierung

Die in Kapitel 2.2 vorgestellte Definition des Begriffes Schnellkraft lässt im Hinblick auf die Beurteilung von Kraft-Zeit-Kurven wenige Differenzierungsmöglichkeiten erkennen. Eine Vielzahl von Autoren setzt an dieser Stelle an und hat den Begriff der Schnellkraft bzw. muskulären Leistung weitergehend operationalisiert. Grundlage der einzelnen Variablen bilden die in Kapitel 2.3 dargestellten neuronalen und muskulären Grundlagen der Kraft sowie die sportartspezifischen Anforderungen und deren mögliche Diagnose. An dieser Stelle sei am Rande auf die begrifflichen und physikalischen Unklarheiten bei der Benennung und Berechnung der einzelnen Variablen der Schnellkraft hingewiesen, die in einer Vielzahl von Studien auftreten (Cronin & Sleivert, 2005, pp. 220–221).

Leistung kann per definitionem erst dann erbracht werden, wenn Bewegung stattfindet. Abbildung 2-67 verdeutlicht diesen Zusammenhang beispielhaft anhand eines Gewichthebers.

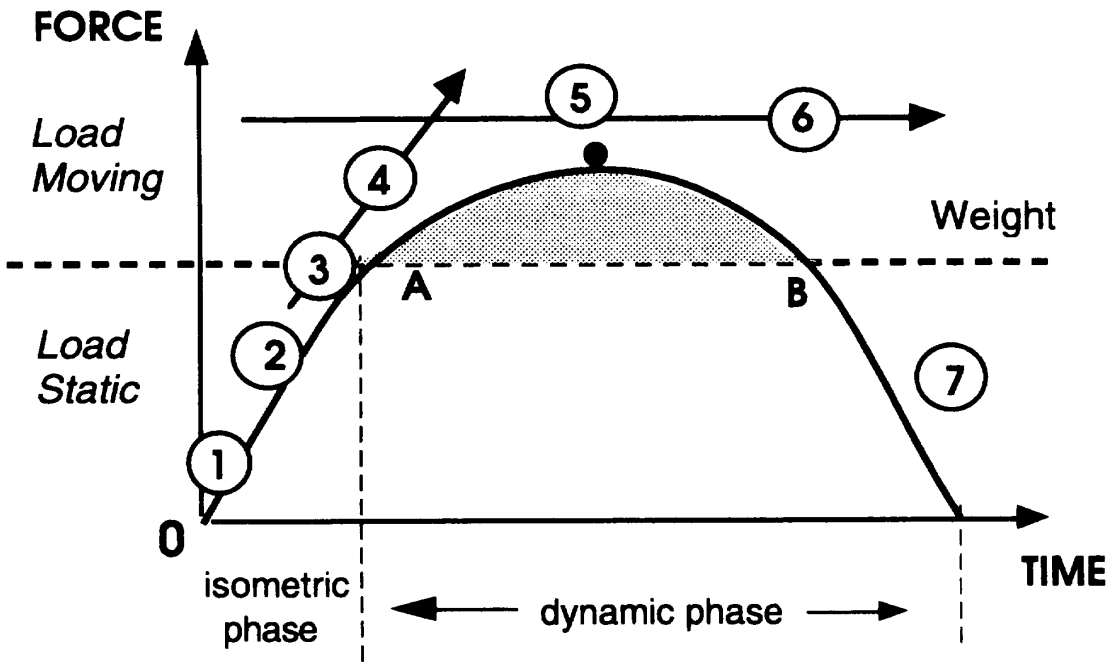

Abbildung 2-67: Typische Kraft-Zeit-Kurve vom Anheben eines freien Gewichtes bis zum Absetzen. Bewegung findet erst statt, wenn die Kraft das Gewicht des Objektes übersteigt und ist durch den grau schraffierten Bereich der Kurve hervorgehoben. (1, Startkraft; 2, Beschleunigungskraft; 3, Kraftentwicklung; 4, maximale Kraftentwicklung; 5, Maximalkraft; 6, Kraftausdauer; 7, abbremsende Kraft; Siff, 2000, p. 107).

Die grau ausgefüllte Fläche bezeichnet den Bereich der Kraft-Zeit-Kurve in dem die Last bewegt (dynamic phase), d.h. Leistung erbracht wird. Diese Leistung ist immer im Zusammenhang mit der Phase der Kraftentwicklung (isometric phase) zu betrachten (Bührle, 1983, Bührle, 1992; Bührle & Schmidtbleicher, 1977; Schmidtbleicher, 1980).

2.4.1 Startkraft

Startkraft bezeichnet die Fähigkeit, einen hohen Kraftanstieg zu Kontraktionsbeginn zu erzeugen. Nach Werchoshanskij und Tatjan (1975, S. 26) wird sie

> durch den Tangens der Tangentenneigung $tg_{\alpha 1}$ im Anfangsteil der Kurve F(t) sowie durch die Zeit (t_1), die verstreicht, bis die erste Hälfte des Kraftmaximums erreicht ist, eingeschätzt.

Letzteren Quotienten bezeichnet Zatsiorsky (1996, S. 52) als Kraftgradient oder S-Gradient (S für Start):

Formel 2-3: S-Gradient (Zatsiorsky, 1996).

$$S-Gradient(N/s)=\frac{F_{0.5}(N)}{t_{0.5}(s)},$$

wobei $F_{0.5}$ = Hälfte der Maximalkraft, $t_{0.5}$ = Zeitdauer, um $F_{0.5}$ zu erreichen.

"S-gradient characterizes the rate of force development at the beginning phase of a muscular effort" (Zatsiorsky & Kraemer, 2006, p. 28). Bührle und Schmidtbleicher (1977, S. 4) quantifizieren die Startkraft

> durch das Bogenmaß des Winkels der Sekante durch den Nullpunkt und den Kurvenpunkt, in dem ⅙ des maximalen Kraftwertes erreicht wird.

In einer späteren Arbeit von Bührle ist die Startkraft auf die ersten 30 ms der Kraft-Zeit-Kurve begrenzt (Bührle, 1985a, S. 104). Andere Autoren schlagen für die Startkraft ein Zeitfenster von 50 ms (Müller, 1987), 60 ms (Papadopoulus & Salonikidis, 2000) oder 100 ms (Letzelter & Schilling, 1974) vor. Diese offensichtliche Definitionsproblematik der Kennziffer Startkraft wird in einem narrativen Übersichtsbeitrag von Hohmann und Giggel (2005, S. 27) thematisiert. Die Autoren empfehlen, sich von strikten Zeitvorgaben zu lösen und „die Startkraft mittels Kraftanstieg nach Überschreitung einer initialen Kraftschwelle (20 N - $IRFD_{20N}$ bzw. 15 N - $IRFD_{15N}$) für eine Zeitdauer von 20 ms bzw. 30 ms" zu berechnen (Hohmann & Giggel, 2005, S. 27):

Formel 2-4: Initialer Kraftanstieg (Hohmann & Giggel, 2005).

$$IRFD(N/s)=\frac{F_{t(20N+0.02s)}-F_{t(20N)}}{0.02s}$$

Zur weiteren Vertiefung und dem sich daraus ergebenen Reliabilitätsproblem sei auf die oben genannte Literatur und den folgenden Exkurs muskuläre Vorspannung verwiesen.

2.4.2 Exkurs muskuläre Vorspannung

Die meisten menschlichen Bewegungen, besonders explosive Bewegungen, starten mit einer vorherigen submaximalen muskulären Spannung, im Folgenden als muskuläre Vorspannung[8] bezeichnet. Diese muskuläre Vorspannung sichert die Körperposition bzw. die Position von zu bewegenden Objekten gegenüber der Schwerkraft. Die Bedeutung einer maximalen bzw. keiner muskulären Vorspannung für die Maximalkraft und Kraftentwicklung unter isometrischen und isokinetischen Bedingungen ist in Grundzügen bekannt: „positive effect: stimulation-tension coupling, negative effect: shortening induced force depression" (Wakayama, Nagano, Hay, & Fukashiro, 2005, p. 340). Die Auswirkungen einer unterschiedlichen muskulären Vorspannung unter isometrischen Bedingungen auf die Maximalkraft sowie die isometrische und dynamische Kraftentwicklung sind bis dato unzureichend erforscht. Kibele (1995) weist auf die theoretische Möglichkeit der Beeinflussung des Kraftanstiegs bei der Explosivkraft hin, konnte jedoch keine wesentlichen Zusammenhänge nachweisen.

[8] Die muskuläre Vorspannung bezieht sich auf das physiologische Geschehen im Muskel, wohingegen die äußerlich gemessene Kraft physikalisch als Anfangskraft bezeichnet wird. Im Folgenden wird bewusst der Begriff der muskulären Vorspannung gewählt.

Viitasalo (1982) untersuchte die Auswirkungen unterschiedlicher muskulärer Vorspannungen (0%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% der isometrischen Maximalkraft) bei der einbeinigen isometrischen Kniestreckung (120° Hüftgelenk-, 90° Kniegelenkwinkel) bei 13 männlichen Sportstudenten (21.5 ± 2.1 Jahre). Die isometrische Maximalkraft war bei einer muskulären Vorspannung von 20%, 30% und 40% signifikant geringer ($p \leq .05$) als ohne muskuläre Vorspannung. Die isometrische Kraftentwicklung zeigte bei allen muskulären Vorspannungen signifikant geringe Werte im Vergleich zur Bedingung „ohne muskuläre Vorspannung" (vgl. Abbildung 2-68). Gründe für die beobachteten geringeren Maximalkraft- und Kraftentwicklungswerte können in der Aktivierung bzw. Ermüdung der jeweiligen Muskelfasertypen für das Erreichen der jeweiligen muskulären Vorspannung gesehen werden:

> Consequently, it can be suggested that the low pretension levels are maintained mostly by ST motor units. Therefore, the low pretension levels should have less effect on the RFD than the high pretension levels. At the high pretension levels, it is likely that part of the fast MUs are recruited to maintain the desired pretension level. (Viitasalo, 1982, p. 151)

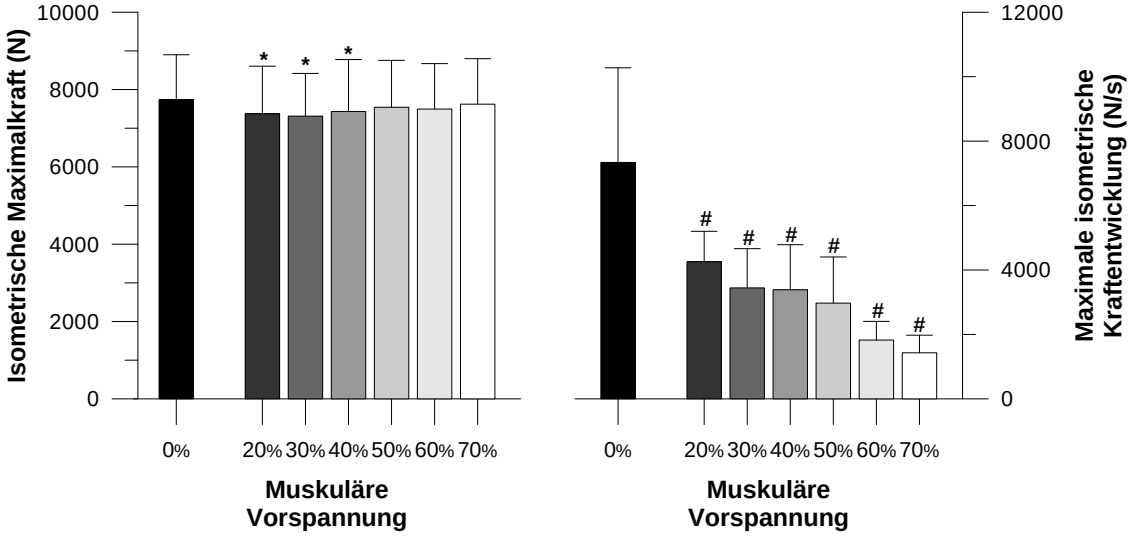

Abbildung 2-68: Vergleich der Mittelwerte (± *SD*) der isometrischen Maximalkraft und der maximalen isometrischen Kraftentwicklung bei unterschiedlichen muskulären Vorspannungen für die Kniestreckung (mod. nach Viitasalo, 1982; *, signifikant geringere Werte ($p \leq .05$) im Vergleich zu 0% muskuläre Vorspannung; #, signifikant geringere Werte ($p \leq .001$) im Vergleich zu 0% muskuläre Vorspannung).

Somit könnten die schnellen Motorischen Einheiten bei höheren muskulären Vorspannungen aufgrund von einsetzender Ermüdung nicht mehr in dem Maße wie bei geringer muskulärer bzw. ohne muskuläre Vorspannung zur Kraftentwicklung beitragen. Darüber hinaus wird die erhöhte Hemmung der Golgi-Sehnenorgane bei steigender muskulärer Vorspannung als zusätzlicher Mechanismus in Betracht gezogen.

Morat (2009) betrachtete im Rahmen einer Reliabilitätsuntersuchung der eingelenkigen Kniestreckung und -beugung am Dr. Wolff Iso-Check den Einfluss unterschiedlicher muskulärer Vorspannungen (0%, 10%, 20%, 30%, 40% des isometrischen maximalen Drehmoments) auf Variablen der maximalen isometrischen Drehmomententwicklung (expDM) und des maximalen isometrischen Drehmoments (maxDM). Die Stichprobe setzte sich aus 35 (21 Männer, 14 Frauen) Probanden mit einem Durchschnittsalter von 66.91 (± 6.56) Jahren zusammen. Auf Basis des Intrakorrelationskoeffizienten r (ICC_r) konnten die expDM sowie das maxDM als reliabel eingestuft werden.

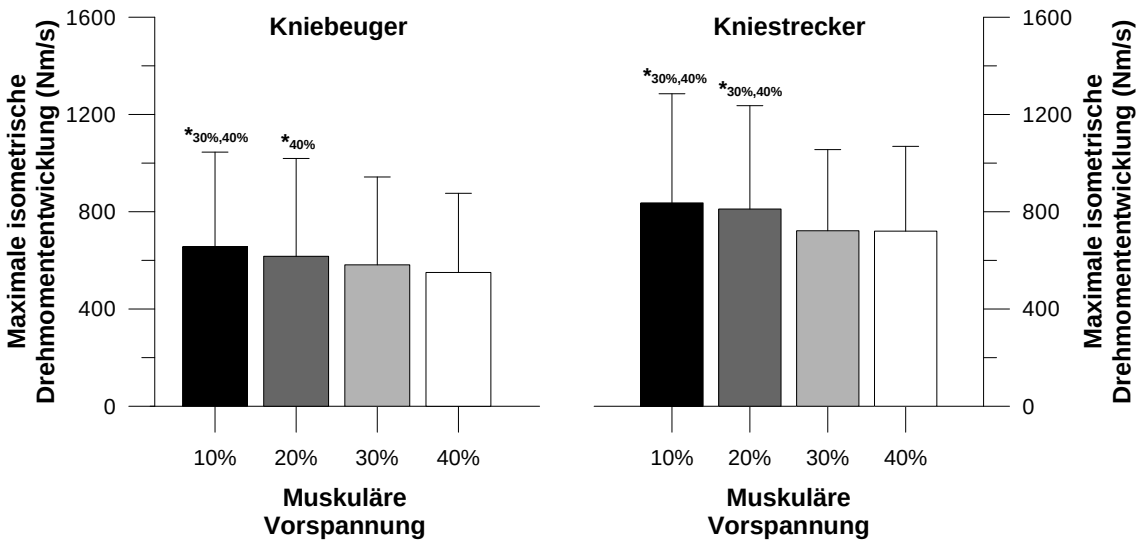

Abbildung 2-69: Vergleich der Mittelwerte (± *SD*) der maximalen isometrischen Drehmomententwicklung bei unterschiedlichen muskulären Vorspannungen für die Kniebeuger und Kniestrecker zum Messzeitpunkt T2 (mod. nach Morat, 2009, S. 41; *, signifikant höhere Werte ($p \leq .05$)).

Die Auswertung zeigte für die Versuche ohne muskuläre Vorspannung (0%) das Phänomen der mechanischen Schlagbelastung des Kraftsensors (vgl. Abbildung 2-72). Somit wurde die muskuläre Vorspannung von 0% aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung wies für das maxDM der Kniebeugung keinen Unterschied in den Maximalwerten bei unterschiedlichen muskulären Vorspannungen auf, für die Kniestreckung zeigte sich zum ersten Messtermin ein bedeutsamer Einfluss der muskulären Vorspannung auf das maximale Drehmoment. Die expDM offenbarte in beiden Testübungen zu beiden Messterminen einen bedeutsamen negativen Einfluss der muskulären Vorspannung (Abbildung 2-69).

Wakayama et al. (2005) untersuchten die Auswirkungen unterschiedlicher muskulärer Vorspannungen auf den Muskel-Sehnen-Komplex bei 10 gesunden Frauen (20.5 ± 0.5 Jahre). Nach einer dreisekündigen muskulären Vorspannung zwischen 0% und 100% der isometrischen Maximalkraft wurde eine Ellbogenbeugung aus 60° Flexion mittels der quick release Methode durchgeführt. Die externe Last wurde für jede Probandin so ausgewählt, dass während der konzentrischen Kontraktion die maximale Leistung erbracht werden konnte. Wie Tabelle 2-24 zeigt, stieg die Arbeit der serienelastischen Komponente (SEC) mit zunehmender muskulärer Vorspannung.

Der Grund hierfür ist in der gespeicherten elastische Energie zu finden. Entgegengesetzt zur SEC verhält sich die kontraktile Komponente (CC): mit zunehmender muskulärer Vorspannung nimmt die Arbeit ab, was sich letztendlich in einer geringeren Arbeit des Muskel-Sehnen-Komplexes äußert. Im Hinblick auf die Leistung zeigt eine höhere muskuläre Vorspannung größere Leistungswerte zu Bewegungsbeginn (Winkel von 61°) durch die Freisetzung der gespeicherten serienelastischen Energie, wohingegen die verzögerte Freisetzung der serienelastischen Energie bei geringer muskulärer Vorspannung zu höheren Werten im Mittel- und Endteil der getesteten Bewegung führt. Zusammengefasst ist die Leistung und die Arbeit der CC und des Muskel-Sehnen-Komplexes (MTC) durch eine muskuläre Vorspannung in dynamischen Bewegungen graduell erniedrigt; die SEC ist hiervon nicht betroffen.

Tabelle 2-24: Leistung und Arbeit bei unterschiedlicher muskulärer Vorspannung (mod. nach Wakayama et al., 2005, p. 344).

muskuläre Vorspannung	Winkel	Muskel-Sehnen-Komplex				Kontraktile Komponente				Serienelastische Komponente			
		Leistung (W)		Arbeit (J)		Leistung (W)		Arbeit (J)		Leistung (W)		Arbeit (J)	
		M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
0% MVC	61	30.2	5.5	0.7	0.1	58	14.2	4.1	0.6	27.8	9.5	-3.4	0.5
	65	97.6	15.3	4.2	0.6	84.6	12.3	7.7	1.2	13	5.2	-3.4	0.7
	75	169.3	29.3	12.4	1.7	154.3	28.3	15	2.2	15	4.4	-2.6	0.5
	85	192.8	38.7	19.5	2.7	179.3	39.3	21.5	3.1	13.5	5.5	-2.0	0.5
30% MVC	61	22.6	11.3	0.6	0.1	37.2***	11.9	1.9***	1.1	14.6*	6.5	-1.3***	1
	65	85.9	17	3.8	0.5	78.5	12.8	5.6**	1.1	7.3	8.4	-1.8***	0.7
	75	153.9	27.6	11.6	1.5	139.7	25.6	12.7*	1.9	14.2	4.7	-1.1***	0.5
	85	177.3	41.9	18.5	2.5	167.8	45.4	19.1	2.8	9.5	6.5	-0.6***	0.4
60% MVC	61	35.9	10.4	0.8	0.2	24.6***	13.4	0.9***	1.3	11.4***	15	-0.1***	1.2
	65	87.3	22.3	3.9	0.7	79.2	15.7	3.5***	1.7	8.1	13.3	0.4***	1.4
	75	143.6	28.6	11.2	1.7	131.7	24.1	10.2***	2.7	11.9	6.2	1.0***	1.3
	85	165.3	34.3	17.7	2.8	156.3	34	16.3***	3.6	9	5.5	1.4***	1.2
90% MVC	61	54.4***	17.3	0.9***	0.1	17.0***	6	0.7***	0.3	37.5***	13.6	1.7***	0.4
	65	91.3	19.1	4.2	0.5	68.3*	12.8	1.2***	0.4	23.0*	10.3	3.0***	0.5
	75	132.5*	24.6	10.8	1.2	123.2*	22.8	7.0***	1	9.3*	5.2	3.8***	0.7
	85	159.6	26.4	16.8*	1.9	152.5	29.4	12.8***	1.8	7.1	14.5	4.0***	0.8

M, Mittelwert; MVC, maximal voluntary contraction; *, $p < .05$; **, $p < .01$;***, $p < .001$; signifikanter Unterschied zu muskulärer Vorspannung 0% MVC und den anderen muskulären Vorspannungen; *SD*, Standardabweichung.

Bobbert und Harlaar (1993) stellten bei einer Untersuchung der isokinetischen Kniestreckung mit unterschiedlichen muskulären Vorspannungen (5% und 90% der isometrischen Maximalkraft bei 85° Kniegelenkwinkel) auf die Drehmoment-Winkel Kurve von 10 Sportstudenten (25 ± 4 Jahre) fest, dass eine höhere muskuläre Vorspannung bei allen getesteten Geschwindigkeiten (30°/s, 60°/s, 120°/s, 210°/s) ein höheres Drehmoment in den ersten 15° der Kniestreckung nach sich zieht. Der mittlere Bewegungsbereich von 100° - 145° blieb von der muskulären Vorspannung unberührt (Abbildung 2-71 und Abbildung 2-71). Ein Grund hierfür könnte in der Verkürzungsgeschwindigkeit der Muskulatur zu finden sein: bei steigender Kraft nimmt die Länge der serienelastischen Komponente zu und die Verkürzungsgeschwindigkeit der Muskelfasern ist höher als die des gesamten Muskel-Sehnen-Komplexes. Dieses Phänomen tritt zu Beginn der geringen muskulären Vorspannung von 5% auf und kann auf Basis der stark ansteigenden Drehmoment-Zeit-Kurve abgeleitet werden. Bei einer höheren muskulären Vorspannung hingegen befinden sich die Muskelfasern in einer günstigeren Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung und können mehr Kraft erzeugen. Die Betrachtung der durchgeführten EMG-Messungen offenbart ein zusätzliches und geschwindigkeitsabhängiges Element der muskulären Aktivierung auf die Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung: bei einer muskulären Vorspannung von 90% wurden trotz höherer Kraftwerte zu Bewegungsbeginn geringere Aktivierungen der Arbeitsmuskulatur bei 120°/s und 210°/s gefunden. Die Autoren begründen diese Beobachtung damit, dass die neuronale Aktivierung zwar geringer sei, aber das Drehmoment durch den höheren Aktivierungsstatus der Arbeitsmuskulatur und die somit fehlende Zeitverzögerung vom Zeitpunkt der Aktivierung bis zur Kontraktion zu diesem Effekt führt.

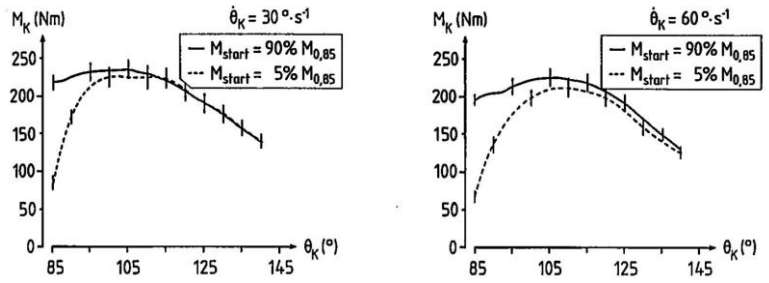

Abbildung 2-71: Drehmoment der Knieextension (M_K) für 30°/s und 60°/s in verschiedenen Gelenkwinkeln (θ_K) bei 5% bzw. 90% Vorspannung (Bobbert & Harlaar, 1993, p. 257).

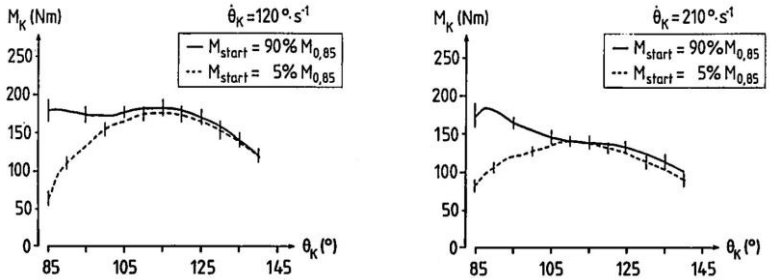

Abbildung 2-71: Drehmoment der Knieextension (M_K) für 120°/s und 210°/s in verschiedenen Gelenkwinkeln (θ_K) bei 5% bzw. 90% muskuläre Vorspannung (Bobbert & Harlaar, 1993, p. 257).

Die vorgestellten Studien betrachteten isometrische, konzentrische und isokinetische Bedingungen. Unter isometrischen Bedingungen zeigte sich mit zunehmender muskulärer Vorspannung eine abnehmende Kraftentwicklung und Maximalkraft. Unter konzentrischen Bedingungen nahm mit steigender muskulärer Vorspannung die Arbeit und Leistung der kontraktilen Komponente und somit des gesamten Muskel-Sehnen-Komplexes ab. Isokinetische Betrachtungen der Drehmoment-Winkel-Kurve wiesen zu Bewegungsbeginn ein höheres Drehmoment bei größerer muskulärer Vorspannung, im Verlauf der Bewegung nivelliert sich dieser Unterschied.

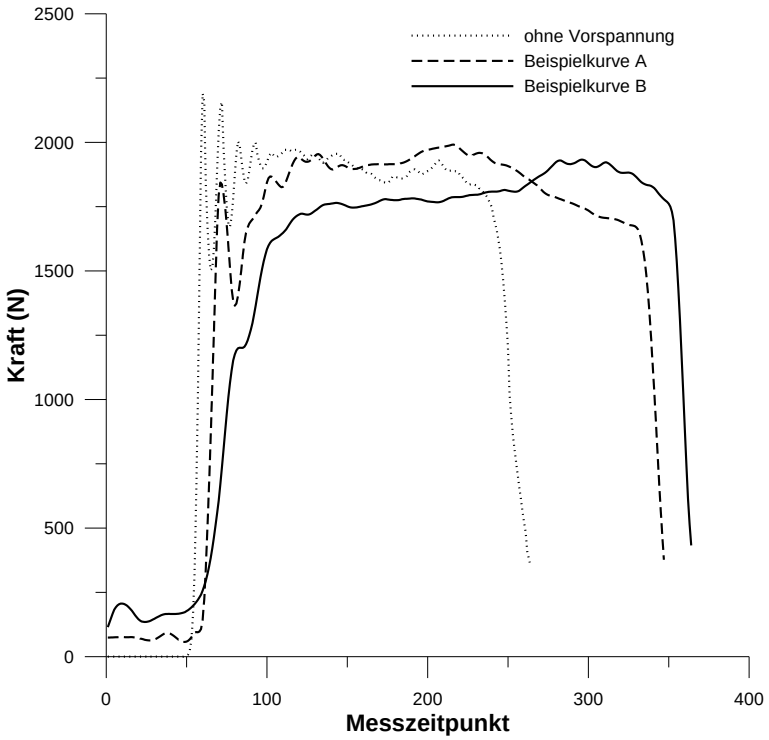

Abbildung 2-72: Exemplarische Kraftkurven mit unterschiedlicher muskulärer Vorspannung und Kraftaufbau.

Die Abbildung 2-72 zeigt unterschiedliche Kraftkurven mit variierender muskulärer Vorspannung unter isometrischen Bedingungen. Der kontrollierte Kraftaufbau (Beispielkurve B, Abbildung 2-72) schließt Messfehler durch mechanische Schlagbelastungen des unbelasteten Sensors zu Beginn der Maximalkraftmessung aus (ohne muskuläre Vorspannung, Abbildung 2-72). Eine sehr geringe muskuläre Vorspannung mit schnellem Kraftaufbau (Beispielkurve A) führt zu einer charakteristischen Kraftanstiegszacke zu Kontraktionsbeginn, deren Maximalwert deutlich geringer ist als der später erreichte Maximalkraftwert (vgl. hierzu auch Bührle & Schmidtbleicher, 1977).

Ein kontrollierter Kraftaufbau mit individuell gewählter, aber geringer muskulärer Vorspannung (Beispielkurve B) führt zwar zu einem deutlich geringeren Kraftanstieg, aber der Maximalkraftwert ist eindeutig zu identifizieren. Folglich wird für die isometrischen Maximalkraftmessungen dieses Vorgehen gewählt. Für die nachfolgend dargestellten dynamischen Leistungsmessungen wird ebenfalls mit einer individuell gewählten, aber möglichst geringen muskulären Vorspannung getestet. Somit können ebenfalls Kraftanstiegszacken vermieden werden, aber die Entwicklung einer möglichst hohen Kraft- und Geschwindigkeitsentwicklung und sich daraus ergebenen Leistung bleibt erhalten.

2.4.3 Explosivkraft

Die Explosivkraft (EXK in N/s) beschreibt die allgemeine Fähigkeit, einen möglichst steilen und schnellen Kraftanstieg zu erzeugen. Bührle und Schmidtbleicher (1977) setzen in Anlehnung an Verchosanskij (1971) und Werchoshanskij und Tatjan (1975) „das Bogenmaß des Steigungswinkels der Sekante durch die Punkte der Kurve, in denen die Werte ⅓ und ½ der Maximalkraft erreicht werden“ (Bührle & Schmidtbleicher, 1977, S. 4) der Explosivkraft gleich (vgl. auch Schmidtbleicher, 1980, S. 55-56).

Die technische Weiterentwicklung führte zu einer Betrachtung der Explosivkraft als steilsten Anstieg in der Kraft-Zeit-Kurve. Bei der computergesteuerten mathematischen Analyse der Kraftanstiegskurven wird der Explosivkraftparameter berechnet als Steigungswert der Tangente im Wendepunkt (Bührle, 1983; 1985a; 1992, S. 123):

Formel 2-5: Explosivkraft (EXK; Bührle, 1983).

$$EXK(N/s) = \frac{\Delta F(N)}{\Delta t(s)},$$

mit ΔF=Kraftveränderung und Δt=Zeitraum.

Zatsiorsky (1996; 2006) beschreibt die Fähigkeit, einen möglichst großen Kraftstoß in einer geringen Zeit zu erzeugen, als `explosive strength´ (ES). In weiteren internationalen Publikationen wird der deutsche Begriff der Explosivkraft als „rate of force development (RFD)“ (Kraftentwicklung, Formel 2-6) bezeichnet.

> RFD can be calculated as the peak slope as well as the average slope within predefined time intervals, that is, from onset of contraction (time 0) to 200 ms after contraction onset. (Aagaard & Bangsbo, 2006, p. 147; vgl. auch Cronin & Sleivert, 2005; Haff, Whitley, & Potteiger, 2001; Sleivert & Wenger, 1994).

Formel 2-6: Rate of force development (RFD; Aagaard & Bangsbo, 2006).

$$RFD(N \cdot s^{-1}) = \frac{\Delta F(N)}{\Delta t(s)},$$

mit ΔF=Kraftveränderung und Δt=Zeitraum.

Übliche Betrachtungszeiträume zur Quantifizierung des kontraktilen Potenzials mittels der mittleren RFD sind 0 bis 30, 50, 100 und 200 ms (Aagaard et al., 2002; Suetta, Aagaard, Magnusson, Andersen, Sipilä, Rosted et al., 2007; Aagaard & Mayer, 2007). Humphries, Dugan und Doyle (2006) weisen auf Einschränkungen durch mittlere Kraftanstiege bei isometrischen Messungen hin und plädieren für eine Bestimmung der momentanen Kraftentwicklung.

Eine weitere Einschränkung in der Aussagekraft der maximalen Kraftentwicklung liegt in der Interpretation der Ergebnisse in Hinblick auf bestimmte Sportarten, wie z.B. in der benötigten Zeit bis zum Erreichen der maximalen Steigung bzw. der maximal aufgebrachten Kraft (Mirkov, Nedeljkovic, Milanovic, & Jaric, 2004).

2.4.4 Weitere Kennziffern der Schnellkraft

Als weiterer Parameter betrachtet der Schnellkraftindex (SKI in N/s) die gesamte Kraftentwicklung bis hin zum Kraftmaximum (Bührle, 1983; 1985a):

Formel 2-7: Schnellkraftindex (SKI; Bührle, 1983).

$$SKI(N/s) = \frac{F_{\max}(N)}{t_{\max}(s)},$$

mit $F_{\max}$ = Maximalkraft, $t_{\max}$ = Zeitdauer bis $F_{\max}$.

Analog zum Schnellkraftindex SKI berechnet Zatsiorsky (1996, S. 52; 2006, p. 28) den „index of explosive strength“ bzw. Explosivkraftindex:

Formel 2-8: Index of explosive strength/Explosivkraftindex (IES; Zatsiorsky, 1996).

$$IES(N/s) = \frac{F_{max}(N)}{t_{max}(s)},$$

mit F_{max} =Kraftmaximum und t_{max} =Zeitdauer zum Erreichen des Kraftmaximums.

Weitergehend bietet Zatsiorsky (1996, S. 52) eine Möglichkeit an, den IES anhand des Körpergewichtes oder der zu bewegenden Last zu relativieren. Diesen relativierten IES bezeichnet Zatsiorsky und Kraemer (2006, p. 28) als Reaktivitätskoeffizienten (RC) bzw. „reactivity coeffizient“:

Formel 2-9: Reaktivitätskoeffizienten (RC; Zatsiorsky, 1996).

$$RC = \frac{F_{max}}{(t_{max} \cdot W)},$$

mit F_{max} =Kraftmaximum, t_{max} =Zeitdauer zum Erreichen des Kraftmaximums,

W =Körpergewicht des Sportlers (oder äußere Last).

Die Annährungsphase an den Maximalkraftwert, die so genannte Approximationskraft (Bührle & Schmidtbleicher, 1977), ist lediglich bei isometrischen Kraft-Zeit-Kurven sinnvoll. „Bei dynamischem Ablauf tritt diese Phase kaum oder nur wenig ausgeprägt in Erscheinung“ (Schmidtbleicher, 1980, S. 56). Müller (1987, S. 132) berichtet ebenfalls von Reliabilitätsproblemen der Approximationskraft. Der A-Gradient beschreibt bei Zatsiorsky (1996, S. 52) sowie Zatsiorsky und Kraemer (2006, p. 28) ebenfalls die späte Phase der Kraftentwicklung:

Formel 2-10: A-Gradient (Zatsiorsky, 1996).

$$A-Gradient(N/s) = \frac{F_{0.5}(N)}{(t_{max}(s) - t_{0.5}(s))},$$

wobei $F_{0.5}$ = Hälfte der Maximalkraft, $t_{0.5}$ = Zeitdauer, um $F_{0.5}$ zu erreichen,

t_{max} = Zeitdauer, um F_{max} zu erreichen.

Neben den oben aufgeführten Kraftparametern erlauben zusätzlich Zeit- und Geschwindigkeitscharakteristika von Kraftkurven, die in Kapitel 2.2 genannten zwei Zielsetzungen (maximale Geschwindigkeit, minimale Zeit) zu unterscheiden (Müller, 1985; 1987):

- Dauer zum Erreichen von F_{max},
- Dauer zum Erreichen des größten Kraftanstieges,
- Dauer zum Erreichen von 10% F_{max} … 90% F_{max},
- Dauer der Kraftentwicklung von 10-20% F_{max} … 90-100% F_{max},
- Bewegungszeit,
- maximale Geschwindigkeit,
- Geschwindigkeit bei F_{max}.

Ein Lösungsansatz für die Beurteilung sportartspezifischer Leistungen mit bekannten optimalen Kraft-Zeit-Verläufen ist, die Steigung der Kraft nach einer bestimmten Zeitspanne zu berechnen bzw. die Zeit bis zum Erreichen eines bestimmten Prozentsatzes der Maximalkraft zu betrachten (Izquierdo, Ibanez, Gorostiaga, Garrues, Zuniga, Anton et al., 1999; Bobbert & van Zandwijk, 1999; Gorostiaga, Izquierdo, Iturralde, Ruesta, & Ibanez, 1999; Häkkinen, Alén, & Komi, 1985; Sleivert & Wenger, 1994; Viitasalo & Komi, 1978; Zhou, McKenna, Lawson, Morrison, & Fairweather, 1996; Newton, Hakkinen, Hakkinen, McCormick, Volek, & Kraemer, 2002). Diese Herangehensweise bietet im Hinblick auf bestimmte sportliche Handlungen einen höheren Bezug zur Sportpraxis und erlaubt, die verschiedenen Ausprägungen von Kraft-Zeit-Kurven sportartübergreifend zu vergleichen (Zatsiorsky, 1996; Güllich & Schmidtbleicher, 1999).

Von den Steigungsparametern über einen weiten Wirkungsbereich der Kraftkurve weisen die Steigungsabschnitte zwischen 20% und 70% eine gute Reproduzierbarkeit auf (Tusker, 1994, S. 52 und 94). Der Mittelwert dieses Bereichs wird von Höss-Jelten (2004, S. 43) als mittlere Explosivkraft (EXK_{mit}) bezeichnet:

Formel 2-11: Mittlere Explosivkraft (EXK_{mit}; Höss-Jelten, 2004).

$$EXK_{mit}(N/s) = \overline{X}\left(F'_{20\%F_{max}}(N/s) + \ldots + F'_{70\%F_{max}}(N/s)\right)$$

Die mittlere Explosivkraft ist Grundlage für die Berechnung der relativen Explosivkraft (EXK_{rel}).

> Die sog. *relative Explosivkraft* gibt dann einen Zeitwert an, den ein Athlet theoretisch benötigen würde, um mit seinem mittleren Kraftanstieg seine Maximalkraft zu erreichen. (Höss-Jelten, 2004, S. 43):

Formel 2-12: Relative Explosivkraft (EXK_{rel}; Höss-Jelten, 2004).

$$EXK_{rel}(s) = \frac{EXK_{mit}(N/s)}{F_{max}(N)},$$

mit EXK_{mit} =mittlere Explosivkraft, F_{max} =Maximalkraft.

Um von der Maximalkraft unabhängige Veränderungen in der Kontraktionsgeschwindigkeit der Muskelfasern deutlich zu machen, kann ein weiterer Kennwert berechnet werden, der ebenfalls als relative Explosivkraft (EXK_{rel} in Prozent der F_{max}/s) (Bührle, 1983, S. 16; 1992, S. 124):

Formel 2-13: Relative Explosivkraft (EXK_{rel} in Prozent der F_{max}/s; Bührle, 1983).

$$EXK_{rel}(\%F_{max}/s) = \frac{EXK(N/s)\cdot 100}{F_{max}(N)},$$

mit EXK =Explosivkraft, F_{max} = Maximalkraft.

Als grobe Richtwerte werden relativierte Kennwerte von 10%, 30%, 60% und 90% F_{max} genannt.

In Anlehnung an Bührle und Schmidtbleicher (1977) hat sich weiterhin die Betrachtung relativierter Kraftanstiege von Kontraktionsbeginn bis ⅙, ½ und ⅔ der Maximalkraft durchgesetzt:

> There by the change in normalized RFD could be evaluated in the very initial phase of contraction (one-sixth MVC, ~30 ms relative to contraction onset), as well as in the intermediate (one-half MVC, ~100 ms) and later phase (two-thirds MVC, ~150 ms). (Aagaard et al., 2002, p. 1320)

Ausgehend von der Definition des Begriffs Schnellkraft als Fläche unter einer Kraft-Zeit-Kurve (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 225) kann zur Quantifizierung bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Historie der Kraftentwicklung der Impuls für unterschiedliche Betrachtungszeiträume berechnet werden (Aagaard et al., 2002; Aagaard, Magnusson, Larsson, Kjaer, & Krustrup, 2007):

- 0-30 ms,
- 0-50 ms,
- 0-100 ms,
- 0-200 ms.

Abbildung 2-73 veranschaulicht die oben beschriebenen Kennziffern.

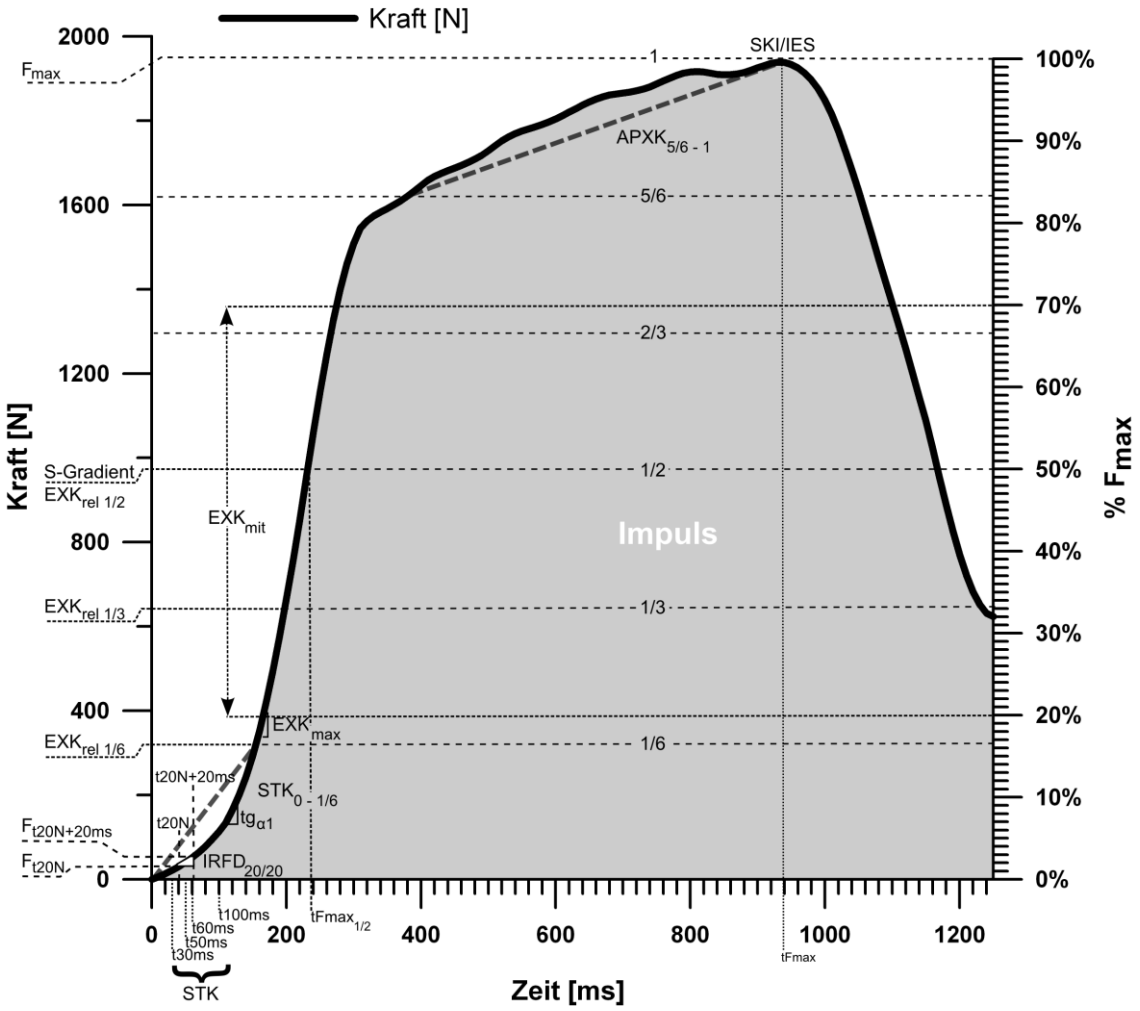

Abbildung 2-73: Kennziffern der Schnellkraft, dargestellt anhand einer idealtypischen Kraft-Zeit-Kurve (Erläuterungen im Text).

2.4.5 Leistung

Im angloamerikanischen Raum liegt der Schwerpunkt der Schnellkraftbetrachtungen auf der Leistung in ihren Ausprägungen der maximalem Leistung (maximum power, P_{max}) bzw. der mittleren Leistung (mean power, P_{mw}) (Bemben, Massey, Bemben, Misner, & Boileau, 1991; Haff, Carlock, Hartman, Kilgore, Kawamori, Jackson et al., 2005; Wilson & Murphy, 1996). Speziell in Sportarten, welche ein Optimum aus Geschwindigkeit und Kraft erfordern, scheint diese Quantifizierungsmethode sinnvoll. Dennoch fehlt der sportartübergreifende Bezug, da die Leistung von der zu bewegenden Last und dem Körpergewicht (Jaric, 2003) abhängig ist. Einen häufig zitierten Betrachtungsstandard in der muskulären Leistungsdiagnostik haben Bosco et al. (1995) gesetzt, die zeigen konnten, dass die

- mittlere Kraft,
- mittlere Geschwindigkeit und
- mittlere Leistung

eine gute bis sehr gute Reliabilität (r = .76 bis .97) aufweisen und sensible Parameter darstellen. Der Ansatz, die Leistung anhand des body mass index (specific power) oder des Muskelquerschnitts (muscle quality) zu relativieren, ist nach Cronin und Sleivert (2005) fraglich, da die Geschwindigkeit der Muskelkontraktion nicht vom Muskelquerschnitt oder dem Körpergewicht abhängt, sondern von der Länge der Muskelfasern. Diese unterscheidet sich nicht nur inter-, sondern auch intraindividuell.

Cronin et al. (2003b; 2003a) ergänzen den von Bosco et al. (1995) gesetzten Betrachtungsstandard um weitere Kraft-, Leistungs-, Zeit- und Geschwindigkeitsparameter, die größtenteils den oben beschriebenen Kennziffern der Schnellkraft entnommen sind:

- Duration of contraction (sec.), DOCC
- Average velocity (m/s), v_{mw}
- Peak velocity (m/s), v_{max}
- Average force (N), F_{mw}
- Peak force (N), F_{max}
- Time to peak force (sec.), t_{Fmax}
- Time to 50% force (sec.), $t_{Fmax½}$
- Impulse at 100 ms (N/s), I_{100}
- Mean power (W), P_{mw}
- Peak power (W), P_{max}

Hierbei deuten die geringen Zusammenhänge von Kraft- und Leistungskennziffern (F_{max}, F_{mw}, P_{max}, P_{mw}) mit klassischen Explosivkraftkennziffern (IES, RC, S-Gradient, A-Gradient) auf verschiedene Kraftqualitäten hin (Cronin et al., 2003a, p. 53). Einen hohen Zusammenhang zwischen P_{mw} und P_{max} zeigten Hori et al. (Hori, Newton, Andrews, Kawamori, McGuigan, & Nosaka, 2007). Im Gegensatz zu Bosco et al. (1995) konnten sie keine höhere Reliabilität der mittleren Leistung im Vergleich zur maximalen Leistung feststellen. Aufgrund der geringeren Fehlerrate bei der Eingrenzung der berechnungsrelevanten konzentrischen Bewegungsphase zur Bestimmung der mittleren Leistung wird die Verwendung der maximalen Leistung bei der Beurteilung der muskulären Leistung empfohlen.

Cormie, McCaulley und McBride (2007) konnten eine sehr hohe Test-Retest-Reliabilität der P_{max} in der Sprungkniebeuge nachweisen. In einer aufbauenden Untersuchung (Cormie, McBride, & McCaulley, 2008) zur Leistungsoptimierung in der Sprungkniebeuge verwendeten sie neben der maximalen Leistung weitere Parameter zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit:

- rate of power development, RPD
- peak acceleration (m/s^2), a_{max}
- force at peak power (N), F_{Pmax}
- velocity at peak power (m/s), v_{Pmax}
- work (J)
- time between P_{max} and v_{max} (sec.), $t_{Pmax\text{-}vmax}$
- time between P_{max} and F_{max} (sec.), $t_{Pmax\text{-}Fmax}$
- time between P_{max} and peak displacement (d_{max}) (sec.), $t_{Pmax\text{-}dmax}$
- time between F_{max} and v_{max} (sec.), $t_{Pmax\text{-}vmax}$

Neben der maximalen Beschleunigung (a_{max}) steht der zeitliche Abstand der einzelnen Maxima der Kraft, Geschwindigkeit, Leistung und Weg im Vordergrund der Datenauswertung. Berücksichtigung findet hier ebenfalls die Arbeit:

Formel 2-14: Arbeit.

$W(J) = F(N) \cdot s(m)$,

wobei W=Arbeit, F=Kraft , s=Weg.

Besonders hervorzuheben ist die dort durchgeführte gepoolte Betrachtung der Daten aller Probanden durch Resampling der vorliegenden Leistungs-Zeit-, Kraft-Zeit-, Geschwindigkeits-Zeit- und Weg-Zeit-Kurven. Die hierfür notwendige hohe Aufzeichnungsfrequenz von 1000 Hz erlaubte die quantitative und qualitative Beurteilung der oben genannten Kurven. Mit dieser Herangehensweise können von Cronin und Sleivert geäußerte Bedenken zur alleinigen Betrachtung der maximalen Leistung überwunden werden:

> It may be that power is not an important determinant of performance and other strength measures may be of equal or greater importance or power measurements have not be appropriate for the performance. (Cronin & Sleivert, 2005, p. 225)

In einer Kurzübersicht betrachten Dugan et al. (2004) den Zusammenhang zwischen der Leistung im Vertikalsprung und der mittleren sowie maximalen Leistung. Unabhängig von den Testbedingungen zeigte die maximale Leistung den höchsten Zusammenhang zur Vertikalsprungleistung. Dies Empfehlung, sich an der maximalen Leistung zur orientieren, deckt sich mit den Empfehlungen von Hori et al. (Hori et al., 2007). Den Zusammenhang zwischen Kraft- und Schnellkraftleistungen an sich und zur sportlichen Leistungsfähigkeit betrachteten Stone, Moir, Glaister und Sanders (2002) in einem Übersichtsartikel. Sie konnten hohe Korrelationen der Maximalkraft und Kraftentwicklung unter isometrischen und dynamischen Bedingungen zeigen. Darüber hinaus schien eine hohe P_{max} mit einem hohen 1 RM nahezu perfekt zu korrelieren (r = 0.93). Durchgehend hohe Zusammenhänge zeigten sich zwischen Kraft- und Leistungsvariablen und sportlicher Leistungsfähigkeit bei verschiedenen Sprüngen und im Sprint.

2.4.6 Variablen der muskulären Leistung

Ausgehend von den Betrachtungen in den Kapitel 2.4.1 bis 2.4.5 werden für das vorliegende Projekt die in den Tabelle 2-25 und Tabelle 2-26 dargestellten Variablen zur Beurteilung von

Schnellkraft- und Leistungsveränderungen in Betracht gezogen. Die Reliabilitätsprüfung in Kapitel 4.1 wird die endgültige Variablenauswahl bestimmen.

Tabelle 2-25: Variablen der Schnellkraftoperationalisierung, Teil 1.

Startkraft	
STK_{20}	Startkraft nach 20 ms
STK_{30}	Startkraft nach 30 ms
STK_{50}	Startkraft nach 50 ms
STK_{60}	Startkraft nach 60 ms
STK_{100}	Startkraft nach 100 ms
S_Grad	Startkraft-Gradient
STK⅙	Startkraft von 0-⅙ F_{max}
Kraftentwicklung, Explosivkraft	
RFD_{30}	mittlere Kraftentwicklung von 0-30 ms
RFD_{50}	mittlere Kraftentwicklung von 0-50 ms
RFD_{100}	mittlere Kraftentwicklung von 0-100 ms
RFD_{200}	mittlere Kraftentwicklung von 0-200 ms
RFD_{max}	maximale momentane Kraftentwicklung
RFD_{mit}	mittlere Kraftentwicklung von 20-70% F_{max}
RFD_{rel}⅙	relativierter Kraftanstieg bis ⅙ F_{max}
RFD_{rel}½	relativierter Kraftanstieg bis ½ F_{max}
RFD_{rel}⅔	relativierter Kraftanstieg bis ⅔ F_{max}
Kraft	
iF_{30}	Integral unter der Kraft-Zeit-Kurve bis 30 ms
iF_{50}	Integral unter der Kraft-Zeit-Kurve bis 50 ms
iF_{100}	Integral unter der Kraft-Zeit-Kurve bis 100 ms
iF_{200}	Integral unter der Kraft-Zeit-Kurve bis 200 ms
iFF_{max}	Integral unter der Kraft-Zeit-Kurve bis F_{max}
F_{max}	maximale momentane Kraft
F_{mw}	mittlere Kraft
Leistung	
iP_{30}	Integral unter der Leistungs-Zeit-Kurve bis 30 ms
iP_{50}	Integral unter der Leistungs-Zeit-Kurve bis 50 ms
iP_{100}	Integral unter der Leistungs-Zeit-Kurve bis 100 ms
iP_{200}	Integral unter der Leistungs-Zeit-Kurve bis 200 ms
iPP_{max}	Integral unter der Leistungs-Zeit-Kurve bis P_{max}
P_{max}	maximale momentane Leistung
P_{mw}	mittlere Leistung
RPD_{max}	maximale momentane Leistungsentwicklung
Geschwindigkeit	
iv_{30}	Integral unter der Geschwindigkeits -Zeit-Kurve bis 30 ms
iv_{50}	Integral unter der Geschwindigkeits -Zeit-Kurve bis 50 ms
iv_{100}	Integral unter der Geschwindigkeits -Zeit-Kurve bis 100 ms
iv_{200}	Integral unter der Geschwindigkeits -Zeit-Kurve bis 200 ms
ivv_{max}	Integral unter der Geschwindigkeits-Zeit-Kurve bis v_{max}
v_{max}	maximale momentane Geschwindigkeit
v_{mw}	mittlere Geschwindigkeit
RVD_{max}	maximale momentane Geschwindigkeitsentwicklung
Beschleunigung	
ia_{30}	Integral unter der Beschleunigungs -Zeit-Kurve bis 30 ms
ia_{50}	Integral unter der Beschleunigungs -Zeit-Kurve bis 50 ms
ia_{100}	Integral unter der Beschleunigungs -Zeit-Kurve bis 100 ms
ia_{200}	Integral unter der Beschleunigungs -Zeit-Kurve bis 200 ms
iaa_{max}	Integral unter der Beschleunigungs -Zeit-Kurve bis a_{max}
a_{mw}	mittlere Beschleunigung
RAD_{max}	maximale momentane Beschleunigungsentwicklung

Tabelle 2-26: Variablen der Schnellkraftoperationalisierung, Teil 2.

Schnellkraftvariablen nach Zatsiorsky	
RC	Reaktivitätskoeffizient
A-Grad	Approximationsgradient
IES	Schnellkraftindex
Zeitvariaben	
DOCC	Dauer der konzentrischen Phase
tAntaH-F	antagonistische Hemmung, Kriterium F
tAntaH-v	antagonistische Hemmung, Kriterium v
$t_{Fmax\text{-}vmax}$	Zeitdauer zwischen F_{max} und v_{max}
$t_{Pmax\text{-}vmax}$	Zeitdauer zwischen P_{max} und v_{max}
$t_{Pmax\text{-}Fmax}$	Zeitdauer zwischen P_{max} und F_{max}
$t_{Pmax\text{-}dmax}$	Zeitdauer zwischen P_{max} und d_{max}
Zeitvariablen bis Maxima	
t_{Fmax}	Zeitdauer bis F_{max}
t_{Pmax}	Zeitdauer bis P_{max}
t_{vmax}	Zeitdauer bis v_{max}
t_{RFDmax}	Zeitdauer bis RFD_{max}
t_{RPDmax}	Zeitdauer bis RPD_{max}
t_{RVDmax}	Zeitdauer bis RVD_{max}
t_{RADmax}	Zeitdauer bis RAD_{max}
Übergreifende Maximalkennziffern	
F_{Pmax}	Kraft bei P_{max}
v_{Fmax}	Geschwindigkeit bei F_{max}
v_{Pmax}	Geschwindigkeit bei P_{max}
Zurückgelegter Weg	
d_{max}	zurückgelegter Gesamtweg

Der zusätzliche Parameter der maximalen Rate der Leistungsentwicklung (RPD_{max}, in Anlehnung an Cormie et al., 2008) stellt eine zusätzliche Möglichkeit der Erfassung der Leistungsentwicklung dar. Hierbei ist die RPD_{max} an die RFD_{max} angelehnt und könnte deren Pendant im späteren Bewegungsbereich darstellen.

Formel 2-15: Rate of power development (RPD_{max}, in Anlehnung an Cormie et al., 2008).

$$RPD(W/s) = \frac{\Delta P(W)}{\Delta t(s)},$$

mit ΔP=Leistungsveränderung und Δt=Zeitraum.

Die Integrale unter der Kraft-Zeit-Kurve (integrated force, iF), Leistungs-Zeit-Kurve (integrated Power, iP), Geschwindigkeits-Zeit-Kurve (integrated velocity, iv) und Beschleunigungs-Zeit-Kurve (integrated acceleration, ia) beschreiben die Historie der Kraft-, Leistungs-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsentwicklung:

Formel 2-16: Integrale unter Kraft-, Leistungs-, Geschwindigkeit- und Beschleunigungs-Zeit-Kurven.

$$\int_{x_0}^{x_1} f(x) \cong \frac{h}{2}(f_0 + f_1),$$

mit $h = x_1 - x_0$.

Sie können aufschlussreiche Hinweise über die Veränderungen der Schnellkraft liefern.

2.5 Explizite Fragestellung und Herleitung der Hypothesen

Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchung ist die Beobachtung von Behm und Sale (1993a), dass eine hohe Bewegungsgeschwindigkeit nicht zwingend erforderlich ist, um Maximal- und Schnellkraftanpassungen auszulösen. Auf Basis dieser Untersuchung sowie der Übertragung auf das auxotonische Krafttraining nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung von Young und Bilby (Young & Bilby, 1993) wurden in der Einleitung drei Fragestellungen formuliert:

1. Wie verändern sich die isometrische und konzentrische Maximalkraft sowie die Sprunghöhe nach einem 6-wöchigen Krafttraining nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung mit unterschiedlichen Bewegungsausführungen?
2. Welche Unterschiede sind hinsichtlich der betrachteten Variablen der Schnellkraft nach einem 6-wöchigen Krafttraining mit unterschiedlichen Bewegungsausführungen nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung feststellbar?
3. Führt ein Krafttraining mit verschiedenen Bewegungsausführungen nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung zu Unterschieden in den akuten hormonellen Reaktionen auf das Training?

Für eine statistische Überprüfung der Fragestellungen werden im Folgenden die Hypothesen abgeleitet. Um die Lesbarkeit zu verbessern, wird der explizite Hinweis auf die „Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung“ in den einzelnen Hypothesen ausgelassen. Die Abkürzungen der unterschiedlichen Bewegungsausführungen, die in der Methodik eingeführt und für die Ergebnisdarstellung und Diskussion verwendet werden, sind in Klammern an den entsprechenden Stellen in die Hypothesen eingefügt.

2.5.1 Hypothesen zu Fragestellung 1

Die möglichen Adaptationsmechanismen an unterschiedliche Bewegungsausführungen im Krafttraining sowie die Aufarbeitung der Literatur konnten zeigen, dass neben einer intendiert-explosiven sowie kontrolliert-zügigen Bewegungsausführung die zusätzliche Betrachtung einer willentlich langsamen Bewegungsausführung sinnvoll ist. Die Literaturlage zeigt für die Frage der Steigerung der isometrischen und dynamischen Maximalkraft nach intendiert-explosiven gegenüber kontrolliert-zügigen submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung keinen Unterschied. Ferner lässt eine langsame Bewegungsausführung über einen Trainingszeitraum von 6 Wochen keinen Unterschied zu intendiert-explosiven und kontrolliert-zügigen submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung erwarten. Es ergibt sich folgende gerichtete Hypothese:

$H_1$1: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt zu gleich hohen Steigerungen der isometrischen und dynamischen Maximalkraft.

$H_0$1: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt zu keinen bzw. unterschiedlichen Steigerungen der isometrischen und dynamischen Maximalkraft.

Hier ist zu erwarten, dass diese Maximalkraftwerte gegenüber der nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe höher ausfallen werden.

$H_1$2: Im Anschluss an ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung zeigen die jeweiligen Trainingsgruppen gegenüber einer nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe höhere isometrische und dynamische Maximalkraftwerte.

$H_0$2: Im Anschluss an ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung zeigen die jeweiligen Trainingsgruppen gegenüber einer nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe keine Veränderungen bzw. Verringerungen der isometrischen und dynamischen Maximalkraftwerte.

Eine geringe Anzahl der betrachteten Studien hat sportmotorische Tests in Form von Sprüngen in die Testbatterie einbezogen. Wurden Sprungkrafttests mit Betrachtung der Sprunghöhe durchgeführt, so zeigten diese bedeutsame Verbesserungen, unabhängig von den zugrundeliegenden Bewegungsausführungen in der Interventionsphase.

$H_1$3: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt zu gleich hohen Steigerungen der Sprunghöhe.

$H_0$3: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt zu keinen bzw. unterschiedlichen Steigerungen der Sprunghöhe.

Hier ist zu erwarten, dass diese Sprunghöhen gegenüber der nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe höher ausfallen werden.

$H_1$4: Im Anschluss an ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung zeigen die jeweiligen Trainingsgruppen gegenüber einer nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe höhere Sprunghöhen.

$H_0$4: Im Anschluss an ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung zeigen die jeweiligen Trainingsgruppen gegenüber einer nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe keine Veränderungen bzw. Verringerungen der Sprunghöhe.

2.5.2 Hypothesen zu Fragestellung 2

Die Betrachtung der muskulären Leistung, operationalisiert als Variablen der Schnellkraft, zeigte sowohl in den aufgeführten Untersuchungen als auch in der Literatur (vgl. Kapitel 2.4) eine Vielzahl von Variablen. Die durchgeführten Studien zu unterschiedlichen Bewegungsausführungen nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung wiesen uneinheitliche Ergebnisse bezüglich der hier untersuchten Belastungsprotokolle auf. Insgesamt ist von einer Schnellkraftverbesserung der drei Trainingsgruppen auszugehen, die bei einer intendiert-explosiven Bewegungsausführung höher ausfallen könnte, wohingegen eine normalzügige gegenüber einer langsamen Bewegungsausführung keine Unterschiede aufweist. Hieraus leiten sich folgende gerichtete Hypothesen für die Fragestellung 2 ab:

$H_1$5: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit intendiert-explosiver (MSTex) Bewegungsausführung führt zu höheren Schnellkraftwerten als ein Krafttraining mit a) kontrolliert-zügiger (MST) und b) langsamer (EST) Bewegungsausführung.

$H_0$5: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit intendiert-explosiver (MSTex) Bewegungsausführung führt zu gleichen bzw. geringeren Schnellkraftwerten gegenüber einem Krafttraining mit a) kontrolliert-zügiger (MST) und b) langsamer (EST) Bewegungsausführung.

$H_1$6: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) kontrolliert-zügiger (MST) und b) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt zu gleich hohen Schnellkraftwerten.

$H_0$6: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) kontrolliert-zügiger (MST) und b) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt zu höheren bzw. geringeren Schnellkraftwerten.

Hier ist zu erwarten, dass diese Schnellkraftwerte gegenüber der nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe höher ausfallen werden.

$H_1$7: Im Anschluss an ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung zeigen die jeweiligen Trainingsgruppen gegenüber einer nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe höhere Schnellkraftwerte.

$H_0$7: Im Anschluss an ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung zeigen die jeweiligen Trainingsgruppen gegenüber einer nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe gleiche oder geringere Schnellkraftwerte.

2.5.3 Hypothesen zu Fragestellung 3

Es existieren keine Studien zu den akuten hormonellen Auslenkungen und deren Veränderungen im Trainingsverlauf bei intendiert-explosiven Kontraktionen sowie zu unterschiedlichen Bewegungsausführung im auxotonischen Krafttraining nach der Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung. Weitere hinzugezogene Studien, die einen Bezug zu den hier untersuchten Belastungsprotokollen erwarten lassen, zeigten erhöhte akute hormonelle Auslenkungen bis 60 Minuten nach einem Krafttraining. Die Veränderungen im Verlauf eines Trainingsprozesses wiesen Verringerungen, keine Veränderungen oder Erhöhungen der akuten hormonellen Auslenkungen auf. Somit leiten sich eine gerichtete sowie eine ungerichtete Hypothese für die Fragestellung 3 ab:

$H_1$8: Ein Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt zu einer Erhöhung der akuten hormonellen Auslenkungen der Hormone i) Testosteron, ii) Cortisol, iii) IGF-1 und iv) hGH.

$H_0$8: Ein Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung hat keine Auswirkungen auf die bzw. führt zu einer Verringerung der akuten hormonellen Auslenkungen der Hormone i) Testosteron, ii) Cortisol, iii) IGF-1 und iv) hGH.

$H_1$9: Ein Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt im Trainingsverlauf zu Veränderungen der akuten hormonellen Auslenkungen der Hormone i) Testosteron, ii) Cortisol, iii) IGF-1 und iv) hGH.

$H_0$9: Ein Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt im Trainingsverlauf zu keinen Veränderungen der akuten hormonellen Auslenkungen der Hormone i) Testosteron, ii) Cortisol, iii) IGF-1 und iv) hGH.

Wie die Determinanten der Skelettmuskeladaptation im Rahmen der theoretischen Betrachtungen gezeigt haben, ist die Spezifizierung der Belastungskonfiguration zur Bestimmung des kausalen Zusammenhangs zwischen Reiz und Effekt entscheidend. Hierzu sind Hypothesen zu den Unterschieden in den Belastungskonfigurationen der drei Trainingsgruppen im Rahmen einer exemplarischen Trainingseinheit zu überprüfen:

$H_1$10: Die Belastungskonfiguration der a) intendiert-explosiven (MSTex), b) kontrolliert-zügigen (MST) und c) langsamen (EST) Trainingsgruppe weist Unterschiede auf.

$H_0$10: Die Belastungskonfiguration der a) intendiert-explosiven (MSTex), b) kontrolliert-zügigen (MST) und c) langsamen (EST) Trainingsgruppe weist keine Unterschiede auf.

$H_1$11: Die a) maximale Leistung und b) integrierte Leistung der konzentrischen Phase der a) intendiert-explosiven (MSTex), b) kontrolliert-zügigen (MST) und c) langsamen (EST) Trainingsgruppe weist Unterschiede auf.

$H_0$11: Die a) maximale Leistung und b) integrierte Leistung der konzentrischen Phase der a) intendiert-explosiven (MSTex), b) kontrolliert-zügigen (MST) und c) langsamen (EST) Trainingsgruppe weist keine Unterschiede auf.

Auf Basis der Ermüdungsaufstockung im Verlauf des Trainingssatzes ist die Veränderung der Leistung in der konzentrischen Bewegungsphase als Indikator zur Belastungsquantifizierung von Interesse:

$H_1$12: Die a) maximale Leistung und b) integrierte Leistung der konzentrischen Phase nimmt im Verlauf des Trainingssatzes bei allen drei Bewegungsprotokollen (EST, MST, MSTex) ab.

$H_0$12: Die a) maximale Leistung und b) integrierte Leistung der konzentrischen Phase verändert sich im Verlauf des Trainingssatzes bei allen drei Bewegungsprotokollen (EST, MST, MSTex) nicht bzw. nimmt zu.

Das Kapitel 2.4 hat Variablen zur Schnellkraftoperationalisierung identifiziert. Da keine Daten zur Reliabilität des Messinstruments bzgl. der Schnellkraftvariablen vorliegen, erfolgt vorab eine Reliabilitätsprüfung.

$H_1$13: Die Variablen zur Schnellkraftoperationalisierung sind reliabel.

$H_0$13: Die Variablen zur Schnellkraftoperationalisierung sind nicht reliabel.

Im Kapitel 2.4.2 wurde die Bedeutung der muskulären Vorspannung für die Erfassung der Schnellkraft aufgezeigt. Mit steigender muskulärer Vorspannung nehmen die Kraftentwicklung sowie Leistung und Arbeit ab. Folglich sind identische muskuläre Vorspannungsbedingungen zu fordern:

$H_1$14: Die relative muskuläre Vorspannung ist innerhalb und zwischen den Gruppen zu beiden Messzeitpunkten für die Testübung a) Brustpresse und b) Beinpresse bei beiden Testlasten identisch.

$H_0$14: Die relative muskuläre Vorspannung unterscheidet sich innerhalb und zwischen den Gruppen zu beiden Messzeitpunkten für die Testübung a) Brustpresse und b) Beinpresse bei beiden Testlasten.

3 Methodik

An der 9-wöchigen Interventionsstudie nahmen 46 männliche Sportstudierende der Deutschen Sporthochschule Köln (23.37 ± 2.65 Jahre, 181 ± 6 cm, 78.74 ± 8.25 kg) teil. Die Trainingsintervention wurde im Muskelfunktionslabor des Instituts für Trainingswissenschaft und Sportinformatik der Deutschen Sporthochschule Köln durchgeführt. Eine a priori durchgeführte Power-Analyse mit dem Programm GPower2.0i (Erdfelder, Faul, & Buchner, 1996) ergab für die Maximalkraft bei einer anzunehmenden Effektstärke von 0.5 (Rhea & Alderman, 2004) und einer Irrtumswahrscheinlichkeit α = .05 mit 4 Gruppen eine notwendige Stichprobengröße von 48 Probanden. Die erreichte Teststärke beträgt 0.8030, das kritische $F(3, 44) = 2.9165$. Der Effekt auf die maximale Kraftentwicklung (RFD_{max}) wird auf Basis von Young und Bilby (1993) mit 0.78 angenommen. Bei vorgegebener Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = .05$ mit 4 Gruppen ergibt sich somit eine Stichprobengröße von 24 Probanden. Die Teststärke beträgt 0.8397, das kritische $F(3, 20) = 3.0984$.

Vor der 6-wöchigen Trainingsintervention fand ein einwöchiges Gewöhnungstraining (2 Trainingseinheiten) und der Pre-Test statt, im Anschluss wurde ein Post-Test durchgeführt (Abbildung 3-1).

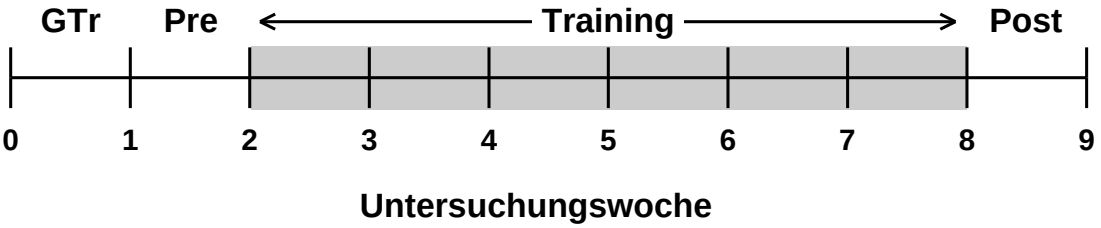

Abbildung 3-1: Untersuchungsablauf (GTr, Gewöhnungstraining; Pre, Pre-Test; Post, Post-Test).

Für die 6-wöchige Trainingsintervention wurden die Probanden anhand der vier isometrischen Maximalkraftwerte im Pre-Test mittels Rangfolge parallelisiert und anschließend randomisiert in die Untersuchungsgruppen eingestellt:

1. Erstellung einer separaten Rangliste der isometrischen Maximalkraftwerte für alle 4 Testübungen (Rangplatz 1, geringster Kraftwert; Rangplatz 46, höchster Kraftwert).
2. Berechnung des Ranglistenmittelwerts der 4 Testübungen für jeden Probanden.
3. Bildung von aufeinanderfolgenden Rangplatz-Vierergruppen und zufällige Zuordnung zu den 3 Trainingsgruppen und zur Kontrollgruppe.

Der Kruskal-Wallis-Test zeigt keine Gruppenunterschied für alle 4 Testübungen und den Gesamtrang (vgl. Tabelle 3-1). Es sind sowohl für alle 4 Testübungen als auch den Gesamtrang keine bedeutenden Unterschiede festzustellen. Die univariate Varianzanalyse (Zwischensubjektfaktor Gruppe) zeigt bei angenommener Varianzhomogenität keine Gruppenunterschiede zwischen den isometrischen Maximalkraftwerten zu Untersuchungsbeginn:

- Beinpresse: $F(3, 41) = 0.067$, $p = .977$
- Beinstrecken: $F(3, 40) = 0.630$, $p = .600$
- Brustpresse: $F(3, 42) = 0.471$, $p = .704$
- Bizeps Curl: $F(3, 42) = 1.109$, $p = .356$

Die geringere Stichprobengröße von 12 Probanden in der EST für die Testübungen Beinpresse und Beinstrecken beruhte darauf, dass ein Proband zu Untersuchungsbeginn aufgrund einer nicht auskurierten Verletzung keine maximalen Kraftbelastungen der unteren Extremitäten ausführen konnte. Die Reduzierung der Stichprobengröße in der MST von 12 auf 11 Probanden für die Testübung Beinstrecken hat seinen Ursprung in starken Belastungsschmerzen, die in einem Fall zum Abbruch des Maximalkrafttests führten.

Tabelle 3-1: Gruppenzuordnung der Probanden auf Basis des Pre-Tests und Überprüfung mittels Kruskal-Wallis-Test.

Übung	Gruppe	*n*	Mittlerer Rang	χ^2	*p*	*M*	*SD*	*KI*	*F*	*p*
Beinpresse	EST	12	23.13	0.857	.836	2209.50	562.23	1852.28 - 2566.72	0.067	.977
	MST	12	20.46			2154.67	499.92	1837.03 - 2472.30		
	MSTex	12	25.42			2245.58	411.28	1984.27 - 2506.90		
	KON	9	23.00			2201.00	518.19	1802.68 - 2599.32		
Beinstrecken	EST	12	21.04	2.600	.458	2189.67	461.77	1896.27 - 2483.06	0.630	.600
	MST	11	24.32			2252.64	213.87	2108.96 - 2396.31		
	MSTex	12	26.00			2266.67	426.21	1995.86 - 2537.47		
	KON	9	17.56			2060.22	299.83	1829.75 - 2290.69		
Brustpresse	EST	13	21.31	0.847	.838	915.92	157.92	820.49 - 1011.35	0.471	.704
	MST	12	22.58			966.25	198.84	839.91 - 1092.59		
	MSTex	12	25.83			973.42	101.79	908.74 - 1038.09		
	KON	9	24.78			997.67	212.16	834.58 - 1160.75		
Bizeps Curl	EST	13	23.62	2.547	.467	905.69	191.65	789.88 - 1021.50	1.109	.356
	MST	12	28.38			978.25	231.71	831.03 - 1125.47		
	MSTex	12	20.38			857.58	171.63	748.53 - 966.63		
	KON	9	21.00			848.67	136.37	743.85 - 953.49		
Rang gesamt	EST	13	22.00	0.705	.872					
	MST	12	24.38							
	MSTex	12	25.67							
	KON	9	21.61							

F, F-Wert; *KI*, 95% Konfidenzintervall; *M*, Mittelwert; *n*, Stichprobengröße; *p*, *p*-Wert; *SD*, Standardabweichung; χ^2, Chi-Quadrat.

Die vier generierten Untersuchungsgruppen setzen sich aus einer Kontrollgruppe (KON) und drei Trainingsgruppen mit unterschiedlichen Bewegungsausführungen zusammen:

- intendiert-explosive Bewegungsausführung,
- kontrolliert-zügige Bewegungsausführung und
- langsame Bewegungsausführung.

Die Probanden wurden in die Auswertung aufgenommen, wenn sie 10 der 12 Trainingseinheiten (80%) absolvieren.

3.1 Belastungskonfiguration des Trainingsprogramms

Alle drei Trainingsgruppen führten ein Krafttraining in Anlehnung an die Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung aus (vgl. Tabelle 3-2).

Tabelle 3-2: Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Erhöhung der Muskelmasse (Hypertrophietraining, mod. nach Güllich & Schmidtbleicher, 1999).

Methode der submaximalen Kontraktion bis zur Erschöpfung	
Spannungshöhe (% 1 RM)	60-85%
Wiederholungen pro Serie	6-20
Serien pro Trainingseinheit (pro Muskelgruppe)	5-6
Serienpause	2-3 min.
Bewegungsausführung	langsam bis zügig

Die intendiert-explosiv trainierende Gruppe wird im Folgenden als explosive Mehrsatz-Trainingsgruppe (MSTex) bezeichnet. Die MSTex arbeitete intendiert-explosiv, sodass der konzentrische und exzentrische Bewegungsabschnitt maximal schnell ausgeführt wurde (vgl. Behm & Sale, 1993a, p. 360; McBride et al., 2002, p. 79), ohne an den Umkehrpunkten der Bewegung zu pausieren (Ausgangsposition [AP] und Endposition [EP] 0 sec.). Die Probanden der MSTex bekamen zwecks Maximierung der Leistung (Newton et al., 1996; Cronin et al., 2001b) die Anweisung, das Gewicht zum Ende der konzentrischen Phase komplett freizugeben. Die kontrolliert-zügig trainierende Gruppe wird im Folgenden als Mehrsatz-Trainingsgruppe (MST) bezeichnet. Diese Gruppe führte die Bewegung mit einer mittleren Geschwindigkeit aus und hielt an den Umkehrpunkten kurz inne (AP und EP 0.5 sec.), um eine ballistische Bewegungsausführung zu vermeiden (typisches Muskelaufbautraining). Die langsam trainierende Gruppe wird im Folgenden als Einsatz-Trainingsgruppe (EST) bezeichnet, da ihre Belastungsstruktur einem typischen Einsatz-Training entspricht (Preuß et al., 2006). Die EST absolvierte die konzentrische und exzentrische Phase betont langsam und pausierte an den Umkehrpunkten kurz (AP und EP 0.5 sec.). Die Kontrollgruppe (KON) behielt ihre übliche körperliche und sportliche Aktivität bei und nahm nicht an einem speziellen Trainingsprogramm teil.

Im EST stellte der Punkt des momentanen Muskelversagens (PmM) das Belastungsabbruchkriterium dar, für die beiden Mehrsatz-Trainingsgruppen wurde der Trainingssatz mit der letztmöglichen korrekten Wiederholung beendet (repetition maximum [RM] bzw. Wiederholungsmaximum [WM]). Dies entspricht den üblichen Vorgehensweisen dieser Trainingsformen in der Praxis (vgl. hierzu Preuß et al., 2006). Eine Steuerung der Belastungsintensität bzw. Spannungshöhe über einen prozentualen Anteil der dynamischen Maximalkraft ist aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren auf den Zusammenhang zwischen dem prozentualen Anteil der Maximalkraft und den maximal möglichen Wiederholungen problematisch (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999; Hoeger, Hopkins, Barette, & Hale, 1990); vor allem die Unterschiede in der Bewegungsausführung der hier untersuchten Belastungsprotokolle würde zu großen Abweichungen in der Wiederholungsanzahl führen (Pereira, Gomes, & Bhambhani, 2007; Sakamoto & Sinclair, 2006). Somit erfolgte die Steuerung der Spannungshöhe über die Wiederholungszahl und das vorgegebene Belastungsabbruchkriterium. Wurde die obere Grenze des Wiederholungsbereichs erreicht, so wurde die Trainingslast im nächsten Satz bzw. in der nächsten Trainingseinheit um die kleinstmögliche Gewichtseinheit erhöht. Bei Erreichen der unteren Grenze wurde sie analog verringert.

Die Mehrsatz-Trainingsgruppen unterscheiden sich hinsichtlich der Verteilung der Kontraktionsarten. Für die Berechnung weiterer Belastungsparameter wurde die konzentrische Phase beider Gruppen mit einer Sekunde angesetzt, da aufgrund der hohen externen Last keine höhere Geschwindigkeit des MSTex zu erwarten ist. Somit unterscheiden sich diese beiden Gruppen hinsichtlich der konzentrischen Bewegungsausführung und der isometrischen Spannungsdauer. Letztere zieht Unterschiede in der gesamten Spannungsdauer und der $\text{Arbeit}_{\text{Spannungsdauer}}$ nach sich. Spannungshöhe, Volumen und Arbeit sind in der MST und MSTex identisch.

Die langsame Bewegungsausführung in der EST erfolgt über Verlängerung der konzentrischen und exzentrischen Phase. Folglich wird das Training hinsichtlich der konzentrischen und exzentrischen Spannungsdauer an die MST und deren Wiederholungsrahmen angeglichen, so dass letztendlich nur ein Trainingssatz pro Übung ausgeführt wird. Eine Angleichung an die Mehrsatztrainingsgruppe über die Belastungsparameter Volumen und Arbeit ist vor dem Hintergrund der identischen Spannungsdauer bei geringerer Spannungshöhe aufgrund der langsamen Bewegungsausführung nicht möglich. Tabelle 3-3 stellt die Belastungskonfiguration zusammengefasst dar.

Tabelle 3-3: Belastungskonfiguration der Trainingsgruppen.

Belastungsparameter		EST	MST	MSTex
Spannungshöhe (% 1 RM)		65	80	80
Wiederholungen pro Satz		6 - 9	6 - 9	6 - 9
Anzahl Sätze		1	3	3
Volumen (Sätze · Wiederholungen)		6 - 9	18 - 27	18 - 27
Arbeit ((Spannungshöhe · Volumen)/100) [1)]		3.9 - 5.9	14.4 - 21.6	14.4 - 21.6
Satzpause(sec.)		-	120 - 180	120 - 180
Wiederholungspause (sec.)		0	0	0
Übungspause (sec.)		120 - 180	120 - 180	120 - 180
Anzahl Trainingseinheiten/Woche		2	2	2
Dauer der Trainingsperiode (Wochen)		6	6	6
Verteilung der Kontraktionsarten: Spannungsdauer pro Wiederholung	iso. AP (sec.)	0.5	0.5	0
	konz. (sec.)	4	1	intendiert-explosiv
	iso. EP (sec.)	0.5	0.5	0
	exz. (sec.)	4	1	1
	gesamt (sec.)	9	3	2
Spannungsdauer pro Trainingsübung	iso. (sec.)	6 - 9	18 - 27	0
	konz. (sec.)	24 - 36	18 - 27	18 - 27
	exz. (sec.)	24 - 36	18 - 27	18 - 27
	gesamt (sec.)	54 - 81	46 - 81	36 - 54
$\text{Arbeit}_{\text{Spannungsdauer}}$ (((Spannungshöhe · Volumen) /100) · Spannungsdauer) [1)]	iso.	23.4 - 53.1	259.2 - 588.2	0
	konz.	93.6 - 212.4	259.2 - 588.2	259.2 - 588.2
	exz.	93.6 - 212.4	259.2 - 588.2	259.2 - 588.2
	gesamt	210.6 - 477.9	662.4 - 1749.6	518.4 - 1166.4
Muskelerschöpfung		PmM	WM	WM
Bewegungsumfang			identisch	
Erholungszeit zwischen den Trainingseinheiten			3-4 Tage	
Trainingsqualität			identisch	
Übungsauswahl			identisch	
Übungsreihenfolge			identisch	

[1)] basierend auf Mazzetti, Douglass, Yocum, & Harber (2007); exz., exzentrisch; iso., isometrisch; konz., konzentrisch; PmM, Punkt des momentanen Muskelversagen; WM, Wiederholungsmaximum.

Abbildung 3-2: Ablauf des Pre- und Post-Test (Wdh., Wiederholungen).

Das Trainingsprogramm bestand aus einem Ganzkörpertraining mit 9 Übungen (Beinpresse, Beinstrecken, Beinbeugen, Rudern Maschine, Brustpresse, Dips Maschine, Bizeps Curl, Rumpfaufrichten, Bauchpresse), das an Krafttrainingsgeräten der Firma Gym80® (Gelsenkirchen) durchgeführt wurde. Eine Übersicht über die Trainingsübungen mit Anfangs- und Endposition der Bewegung findet sich im Anhang I: Trainingsübungen.

In den Pre- und Post-Tests wurden die anthropometrischen Daten und die Sprunghöhe in cm (Squat Jump) erfasst. Für die Übungen Beinpresse, Beinstrecken, Brustpresse und Bizeps Curl wurden die isometrische Maximalkraft (N), die dynamische Maximalkraft (1 RM, in kg) und die Variablen der Schnellkraftoperationalisierung (Kapitel 2.4.5, Tabelle 2-25 und 2-26) bei 80% und 50% des dynamischen 1 RM erhoben. Die Reihenfolge der Testübungen wurde in allen Tests beibehalten. Abbildung 3-2 stellt den Testablauf dar.

3.2 Messpositionen der Testübungen

Die Ausgangsstellung für die isometrische und dynamische Kraftmessung war für die einzelnen Geräte identisch. Um isometrische Messbedingungen herzustellen, wurde eine am Institut für Trainingslehre und Sportinformatik der Deutschen Sporthochschule Köln entwickelte „Isometriestange“ genutzt (Abbildung 3-3, B). Hierbei handelt es sich um eine Vorrichtung zur Fixierung des Gewichtblocks des jeweiligen Krafttrainingsgerätes.

Abbildung 3-3: Isometrie- (B) und Dynamikstange (C) am Gewichtsturm (A).

Bei den Geräten Brustpresse und Bizeps Curl ist für die dynamischen Messungen eine Veränderung des Kraftarmes notwendig. Diese Veränderung wurde durch Höherstecken des Schwerts im Gewichtsblock hergestellt und im Folgenden als „Dynamikstange“ bezeichnet (Abbildung 3-3, C).

Die Geräteeinstellungen wurden protokolliert und für alle Testsitzungen beibehalten. Für die isometrischen Messungen wurde die Isometriestange auf dem Gewichtsblock fixiert.

3.2.1 Messposition Beinpresse

Das Gerät Beinpresse bietet drei verschiedene Möglichkeiten der individuellen Einstellung. In Abhängigkeit von den anthropometrischen Voraussetzungen des Probanden lassen sich der Neigungswinkel der Fußplatte und der Rückenlehne sowie der Abstand des Sitzes zur Fußplatte personenbezogen einstellen. Es wurden folgende Grundeinstellungen vorgenommen (vgl. Abbildung 3-4):

Abbildung 3-4: Grundeinstellungen Beinpresse (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005).

- Fußstütze lotrecht (1)
- Fußposition: Os naviculare in der Mitte der Platte (2), Füße in der Mitte der rechten bzw. linken Plattenhälfte (3)
- Knie auf einer gedachten Linie zwischen oberem Sprunggelenk und Hüftgelenk (4)
- Rückenlehne in der flachsten Position 1, Hüftgelenkwinkel ca. 75° (5)

- Rücken und Gesäß an das Polster angedrückt, mit ständigem Kontakt zum Polster während der Versuchsausführung (6)
- Hände umschließen die seitlichen Handgriffe (7)

Der Abstand des Sitzes zur Fußplatte wurde individuell für jeden Probanden so eingestellt, dass im Knie- und Sprunggelenk ein Winkel von 90° (NN0) als Testposition (Isometrie) bzw. Startposition (Dynamik) vorlag. In der Endposition der dynamischen Bewegungsausführung waren die Kniegelenke gestreckt (Abbildung 3-5).

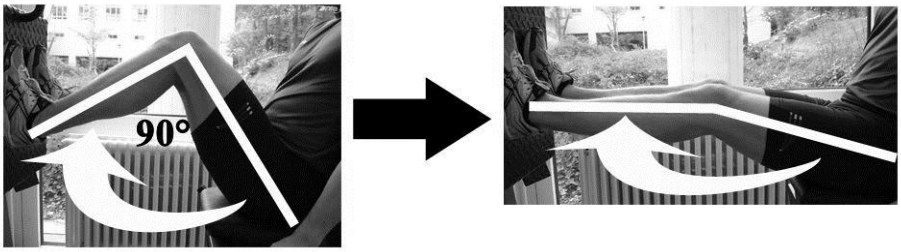

Abbildung 3-5: Testposition Isometrie sowie Start- und Endposition Dynamik, Beinpresse (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005).

3.2.2 Messposition Beinstrecken

Das Gerät Beinstrecken bietet die Möglichkeit, die Sitzposition, die Winkelstellung des Kraftarms und die Einstellung des Fußpolsters zu verändern. Die Grundeinstellung setzte sich wie folgt zusammen (vgl. Abbildung 3-6):

Abbildung 3-6: Grundeinstellungen Beinstrecken (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005).

- Sitzeinstellung: Drehachse Gerät und Achse Kniegelenk auf einer Höhe (1)
- Unterschenkelpolster: dorsales Ende der Tibia bei maximaler Dorsalflexion (2)
- Füße und Knie sind hüftbreit auseinander und liegen auf einer gedachten Linie (3)
- Rücken und Gesäß an das Polster angedrückt, mit ständigem Kontakt zum Polster während der Versuchsausführung (4)
- Hände umgreifen die seitlichen Haltegriffe (5)

Der Hebelarm des Geräts wurde so eingestellt, dass in der Testposition (Isometrie) bzw. der Startposition (Dynamik) ein Kniegelenkwinkel von 90° (NN0) vorlag. In der Endposition der dynamischen Bewegungsausführung waren die Kniegelenke maximal gestreckt (vgl. Abbildung 3-7). Ein Anheben des Gesäßes wurde unter beiden Testbedingungen untersagt.

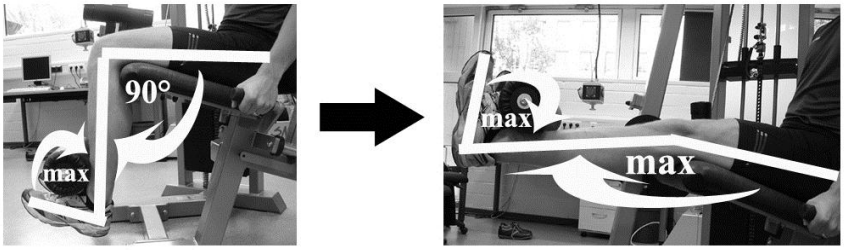

Abbildung 3-7: Testposition Isometrie sowie Start- und Endposition Dynamik, Beinstrecken (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005).

3.2.3 Messposition Brustpresse

Das Gerät Brustpresse kann sowohl in der Sitzhöhe als auch in der Winkelstellung des Kraftarms verändert werden. Es wurden folgende Grundeinstellungen vorgenommen (vgl. Abbildung 3-8):

- Rücken und Gesäß an das Polster angedrückt (1)
- Sitzhöheneinstellung: 60° Abduktion im Schultergelenk (2)
- Gedachte Verbindungslinie zwischen den Handgriffen in der Mitte des Sternums (3)
- Ellbogen auf Handhöhe (4), Handgelenke gerade (5)

Der Ellbogengelenkwinkel wurde mittels der Dynamikstange für die Testposition (Isometrie) bzw. Startposition (Dynamik) auf 90° eingestellt. In der Endposition der dynamischen Bewegungsausführung waren die Ellbogengelenke endgradig gestreckt Die Füße standen bei der Testdurchführung flach auf dem Boden, der Winkel im Kniegelenk betrug ungefähr 90°. Das Gesäß hielt ständigen Kontakt zur Rückenlehne, eine physiologische Lordose wurde während der Testdurchführung aufrechterhalten (vgl. Abbildung 3-9).

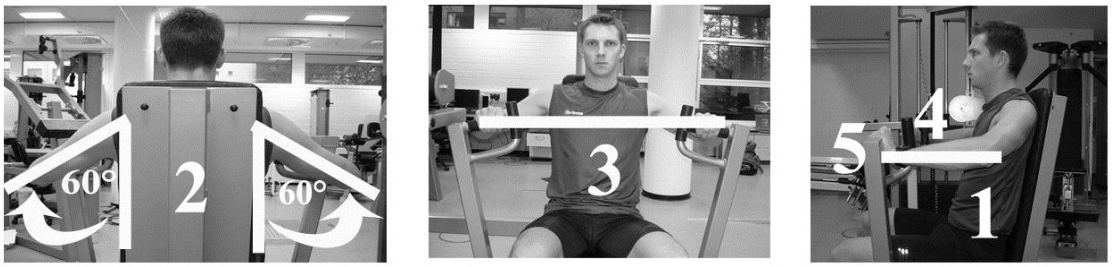

Abbildung 3-8: Grundeinstellungen Brustpresse (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005).

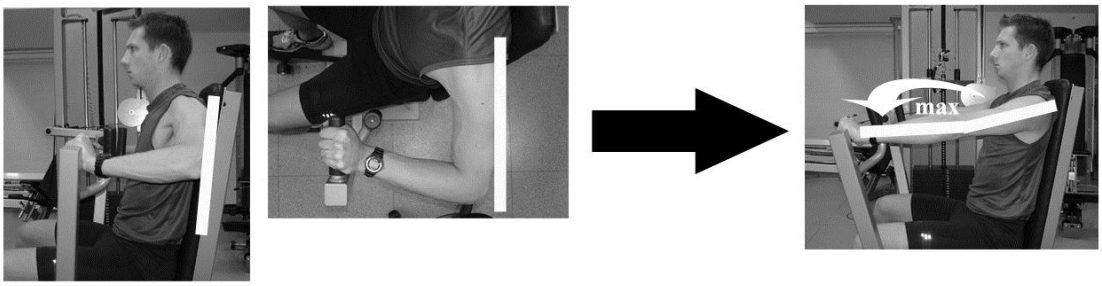

Abbildung 3-9: Testposition Isometrie sowie Start- und Endposition Dynamik, Brustpresse (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005).

3.2.4 Messposition Bizeps Curl

Das Gerät Bizeps Curl bietet die Möglichkeit, die Winkelstellung des Hebelarms zu verändern und die Sitzhöhe der Größe des Probanden anzupassen. Die Grundeinstellung wurde wie folgt festgelegt (vgl. Abbildung 3-10):

- Sitzhöheneinstellung: Ellbogen liegt bei komplett aufliegendem Oberarm (1) frei (2)
- Drehachse Gerät und Drehachse Ellbogengelenk liegen auf einer gedachten Linie (3)
- Ellbogen und Hände bei supiniertem Griff schulterweit auseinander auf einer gedachten Linie (4)

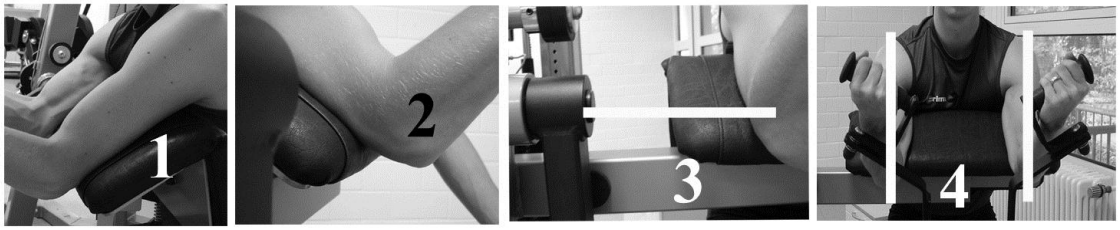

Abbildung 3-10: Grundeinstellungen Bizeps Curl (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005).

Die Testperson wurde mittels der Isometrie- bzw. Dynamikstange so positioniert, dass sich die Ellbogengelenke bei einer Beugung von 5° (NN0) bzw. 175° (Gelenkinnenwinkel) in der Testposition (Isometrie) bzw. Startposition (Dynamik) befanden. In der Endposition waren die Ellbogengelenke maximal gebeugt. Die Füße standen bei der Testdurchführung flach auf dem Boden, der Winkel im Kniegelenk betrug ungefähr 90°. Ein Schwungholen mit dem Oberkörper wurde untersagt (vgl. Abbildung 3-11).

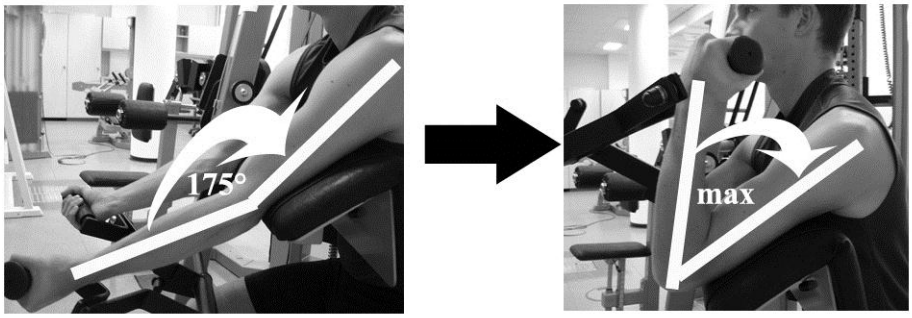

Abbildung 3-11: Testposition Isometrie sowie Start- und Endposition Dynamik, Bizeps Curl (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005).

3.2.5 Squat Jump

Die Reliabilität des Squat Jumps wird in der Literatur mit einem Cronbach's α von .97 (Markovic, Dizdar, Jukic, & Cardinale, 2004) und einen *CV* von 5.4% (Arteaga, Dorado, Chavarren, & Calbet, 2000) als sehr hoch eingestuft.

Die Datenaufnahme erfolgte mittels Sprungkraftmessplatte DigiMax (Messbereich 5 kN, Auflösung 0.1 N, Abtastrate 100 Hz) der Firma mechatronic® (Hamm). Der Squat Jump wurde definitionsgemäß ohne Ausholbewegung der Arme durchgeführt. Der Proband befand sich im hüftbreiten Stand auf der Kraftmessplatte, die Hände waren seitlich in die Hüften gestützt. Für die

Durchführung wurden die Knie langsam gebeugt bis die Oberschenkel bodenparallel waren. In dieser Position verharrte der Proband kurz, um dann so hoch wie möglich zu springen. Da die Sprunghöhe anhand der Bodenreaktionskräfte, der Flugzeit und des Körpergewichts berechnet wurde, war eine Landung mit möglichst gestreckten Beinen anzustreben. Dies wurde durch einen erneuten und sofortigen Absprung nach der Landung sichergestellt (Baechle & Earle, 2000a). Der Squat Jump mit der größten Sprunghöhe wurde in die Auswertung aufgenommen.

3.3 Isometrische Maximalkraftmessung

Die Erfassung der isometrischen Maximalkraft erfolgte in Anlehnung an die in der Literatur publizierten Standards. Die Reliabilität dieser Testmethode wird als sehr hoch eingestuft (Schlumberger & Schmidtbleicher, 2000; MacDougall, Wenger, & Green, 1991; Abernethy, Wilson, & Logan, 1995). Die Datenaufnahme erfolgte mittels Kraftsensor (Messbereich 5 kN, Auflösung 1 N, Abtastrate 100 Hz) der Firma mechaTronic® (Hamm). Vor jeder isometrischen Maximalkraftmessung wurde ein individuell standardisierter Aufwärmsatz (externe Last: Beinpresse 100% Körpergewicht; Beinstrecken, Brustpresse und Bizeps Curl 30% Körpergewicht) mit 8 bis 10 dynamischen Wiederholungen durchgeführt. Es schlossen sich eine isometrische Probekontraktion sowie die zwei Testkontraktionen an. Lag zwischen den Maximalkraftwerten beider Testkontraktionen ein Unterschied von mehr als 10%, so wurde eine dritte Testkontraktion notwendig. Der Versuch mit dem höchsten Maximalkraftwert wurde in die Auswertung aufgenommen.

Die Probanden wurden für die isometrische Maximalkraftmessung instruiert, von einer leichten, selbst gewählten muskulären Vorspannung aus ihre maximale Kraft kontrolliert über eine Zeitspanne von 1-3 Sekunden aufzubauen und für 1-2 Sekunden zu halten:

> „Nehmen Sie eine leichte Vorspannung auf und halten Sie diese, bis ich das Kommando „UND LOS“ gebe. Bei „LOS“ bauen Sie dann kontrolliert über einen Zeitraum von 1-3 Sekunden Ihre maximale Kraft auf und halten diese dann 1-2 Sekunden, bis ich „STOP“ sage. Achten Sie darauf, dass sie bei der Kraftanstrengung weiteratmen. Bei „LOS“ können Sie die Luft auch kurz anhalten, atmen aber nach der Kraftanstrengung möglichst schnell wieder normal weiter. Nach jedem Versuch haben Sie 60 Sekunden Pause, in der Sie die Testposition verlassen können, aber bitte im Gerät sitzen bleiben. Sollten Sie irgendwelche Beschwerden oder Probleme haben, geben Sie mir bitte sofort Bescheid. Haben Sie noch Fragen?“

Der Testleiter gab das Abbruchzeichen, Kriterium war ein deutliches Absinken des Kraftwertes. Die Probanden wurden während der Versuche nicht angefeuert. Die Bedingung des Nicht-Anfeuerns ist reproduzierbarer als die Bedingung des Anfeuerns. Vor jedem Versuch wurde mit dem Kraftsensor im unbelasteten Zustand ein Nullabgleich durchgeführt.

Für die isometrischen Maximalkraftmessungen wurde ein kontrollierter Kraftaufbau mit individuell gewählter, aber geringer muskulärer Vorspannung gewählt (vgl. Kapitel 2.4.1, Exkurs muskuläre Vorspannung sowie Abbildung 2-72). Zwar führt die muskuläre Vorspannung zu einem geringeren Kraftanstieg, aber der erreichte Maximalkraftwert ist problemlos zu erkennen. Für die nachfolgend dargestellten dynamischen Leistungsmessungen wird ebenfalls mit einer individuell gewählten, aber möglichst geringen muskulären Vorspannung getestet. Somit können ebenfalls Kraftanstiegszacken vermieden werden, aber die Entwicklung einer möglichst hohen Kraft- und Geschwindigkeitsentwicklung und sich daraus ergebenen Leistung kann erhalten bleiben.

3.4 Dynamische Kraftmessung

3.4.1 One repetition maximum (1 RM)

Die Bestimmung des 1 RM erfolgte in Anlehnung an den in der Literatur publizierten Standard (Hoffman, 2006, p. 34; Baechle & Earle, 2008, p. 395). Die Reliabilität wird im Allgemeinen als sehr hoch eingeschätzt (Berger & Hardage, 1967; MacDougall et al., 1991; Abernethy et al., 1995). Entgegen der üblichen Vorgehensweise wurde auf die leichten Aufwärmsätze verzichtet, da der Bestimmung des 1 RM der isometrische Maximalkrafttest sowie eine dynamische Erwärmung vorausgingen. Anhand der vorhergehenden isometrischen Maximalkrafttests und den Voruntersuchungen konnte der Bereich, in dem das 1 RM liegen würde, annähernd vorhergesagt werden (vgl. Abbildung 3-12). Die Bestimmung der dynamischen Maximalkraft (1 RM) erfolgte wie nachfolgend dargestellt:

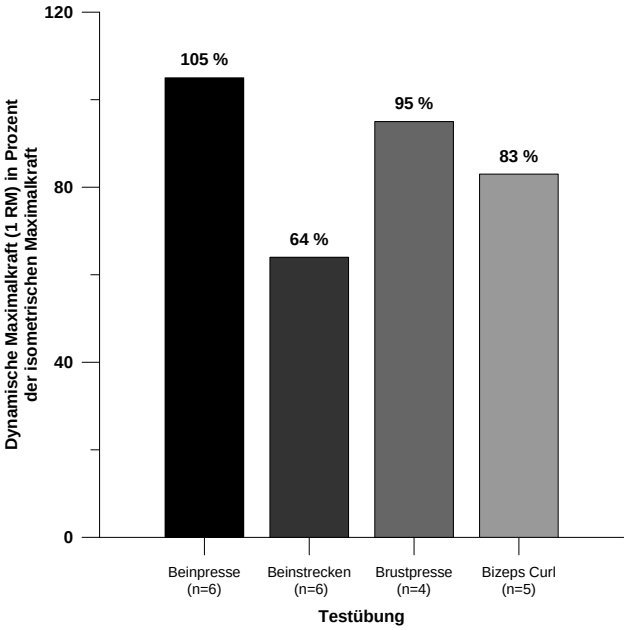

Abbildung 3-12: Exemplarischer prozentualer Vergleich des 1 RM mit der isometrischen Maximalkraft für alle 4 Testübungen.

1. Auswahl einer nahe am prognostizierten dynamischen Maximum liegenden Last (Basis isometrische Maximalkraft), welche 2-3 Wiederholungen zulässt,
2. 2-4 Minuten Pause,
3. Gewichtserhöhung um 4-9 kg (oder 5-10%) bei Oberkörperübungen, 14-18 kg (oder 10 bis 20%) bei Unterkörperübungen,
4. Nächster 1 RM Versuch,
5. 2-4 Minuten Pause, dann zurück zu Schritt 3.
6. Bei einem Fehlversuch 2-4 Minuten Pause, anschließend eine Gewichtsreduktion um 2-4 kg (2.5-5%) für Oberkörperübungen und 7-9 kg (5-10%) für Unterkörperübungen. Dann zurück zu Schritt 3.

Idealerweise wird das 1 RM innerhalb von 3 bis 5 Versuchen ermittelt. In der vorliegenden Untersuchung wurden maximal 6 Versuche durchgeführt.

Hinsichtlich der 1 RM Bestimmung in der Beinpresse muss angemerkt werden, dass dieses Gerät keine ausreichende Gewichtsbestückung besaß, um bei ca. einem Drittel der Probanden die Bestimmung des 1 RM zuzulassen. Alternativ wurde mit dem gerätespezifischen Maximalgewicht (250 kg) ein Wiederholungstest durchgeführt und das hypothetische 1 RM mit der Formel nach Epley (1985) berechnet:

Formel 3-1: Hypothetisches 1 RM (Epley, 1985).

$$1\ \text{RM} = (1 + 0.0333 \cdot \text{reps}) \cdot \text{rep wt}$$

mit reps = Wiederholungen, rep wt = Last (kg).

3.4.2 Muskuläre Leistung

Den Schwerpunkt des vorliegenden Forschungsprojektes stellt die Betrachtung der Veränderungen der Schnellkraft- und Leistungsvariablen dar (vgl. Tabellen 2-25 und 2-26). Mit Testlasten von 80% und 50% des 1 RM wurden in den Testübungen Beinpresse und Brustpresse jeweils 3 maximal schnelle Wiederholungen ausgeführt. Die Pause zwischen den einzelnen Versuchen betrug 60 Sekunden. Die Bestimmung der konkreten Testlasten erfolgte auf Basis des 1 RM Tests im Pre-Test. Im Pre- und Post-Test wurden somit identische Lasten verwendet, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu sichern. Aufgrund messtechnischer Probleme bei den Testübungen Beinstrecken und Bizeps Curl im Post-Test, konnten diese Übungen nicht in die Auswertung der muskulären Leistung mit einbezogen werden. Die Probanden wurden für die Leistungsmessung instruiert, ihre maximale Kraft so schnell wie möglich aufzubauen. Die Bewegung sollte nicht aktiv von einer Abbremsbewegung gestoppt werden.

Vor jeder Messung wurde eine geringe, individuelle muskuläre Vorspannung aufgebaut, um Messartefakte zu Bewegungsbeginn zu vermeiden (vgl. Abbildung 2-72) und um die Gelenke vor der schnellkräftigen Kraftentfaltung muskulär zu sichern. Folgende Testanweisung wurde verwendet:

1. Beinpresse

> „Nehmen Sie eine leichte Vorspannung auf und halten Sie diese, bis ich das Kommando „UND LOS“ gebe. Bei „LOS“ strecken Sie so explosiv und kräftig wie möglich Ihre Beine und springen von der Fußplattform ab. Achten Sie bei der Landung darauf, die Sprung- und Kniegelenken zu beugen um das Gewicht abzufedern. Bei „LOS“ können Sie die Luft auch kurz anhalten, atmen aber im Verlauf Kraftanstrengung aus. Nach jedem Versuch haben Sie 60 Sekunden Pause, in der Sie die Testposition verlassen können, aber bitte im Gerät sitzen bleiben. Sollten Sie irgendwelche Beschwerden oder Probleme haben, geben Sie mir bitte sofort Bescheid. Haben Sie noch Fragen?“

2. Brustpresse

> „Nehmen Sie eine leichte Vorspannung auf und halten Sie diese, bis ich das Kommando „UND LOS“ gebe. Bei „LOS“ strecken Sie so explosiv und kräftig wie möglich Ihre Arme und stoßen die Hebelarme möglichst weit von sich weg. Halten Sie die Hebelarme dabei fest umschlossen. Achten Sie beim Zurückführen der Hebelarmedarauf, die Ellbogengelenke zu beugen um das Gewicht abzufedern. Bei „LOS“ können Sie die Luft auch kurz anhalten, atmen aber im Verlauf Kraftanstrengung aus. Nach jedem Versuch haben Sie 60 Sekunden Pause, in der Sie die Testposition verlassen können, aber bitte im Gerät sitzen bleiben. Sollten Sie irgendwelche Beschwerden oder Probleme haben, geben Sie mir bitte sofort Bescheid. Haben Sie noch Fragen?“

Die Probanden wurden während der Versuche nicht angefeuert. Vor jedem Versuch wurde mit dem Kraftsensor im unbelasteten Zustand ein Nullabgleich durchgeführt.

Die Erfassung der dynamischen Kraftdaten erfolgte mit dem oben beschriebenen Kraftaufnehmer und einem Seilzugwegaufnehmer (Inkrementalgeber, Messbereich 2 m, Auflösung 1 mm, Abtastrate 100 Hz) der Firma mechaTronic® (Hamm). Hierbei liefert die synchrone Erfassung von Kraft- und Positionsdaten genauere Daten als die Berechnung der Kraft über

Orts-/Positionsveränderungen (inverse dynamics approach) bzw. der Geschwindigkeit über die Impuls-Momentum-Beziehung (forward dynamics approach) (Buchanan, Lloyd, Manal, & Besier, 2005; Dugan et al., 2004; Hori, Newton, Nosaka, & McGuigan, 2006).

Die Gewichtsbestückung des Geräts Beinpresse ließ bei 27 Probanden eine Messung der muskulären Leistung bei einer Testlast von 80% 1 RM zu. Für 19 Probanden war der Gewichtsstapel nicht ausreichend.

3.5 Datenauswertung der muskulären Leistung

Kinematische Daten bedürfen aufgrund von Störsignalen unterschiedlicher Art häufig einer Datenvorbehandlung in Form einer Filterung. Deutlich sichtbar wird dieses so genannte Rauschen, indem die vorhandenen Rohwerte differenziert werden. In der vorliegenden Untersuchung wurde eine Filterung der aufgenommenen Wegdaten notwendig, wie Abbildung 3-13 verdeutlicht. Es wurden verschiedene Filterverfahren in Betracht gezogen (polynominale Kurvenanpassung, gleitender Mittelwert, Low-pass Butterworth Filter; vgl. hierzu Robertson, Caldwell, Hamill, Kamen, & Whittlesey, 2004, pp. 234–238 und Winter, 2005). Für die Filterung kinematischer Daten haben sich in der Literatur die Anwendung des Low-pass, zero-lag Butterworth Filters (Aagaard et al., 2002; Granacher, 2003; Hori et al., 2007) bzw. anderer Low-pass Filter (Cronin et al., 2003b; Cronin et al., 2003a) bewährt.

In der vorliegenden Untersuchung kam ein Low-pass, zero-lag Butterworth Filter 4. Ordnung mit einer anfänglichen Cutoff-Frequenz von 6.8 Hz zur Anwendung, die mittels Residualanalyse angepasst wurde (Yu, Gabriel, Noble, & An, 1999).

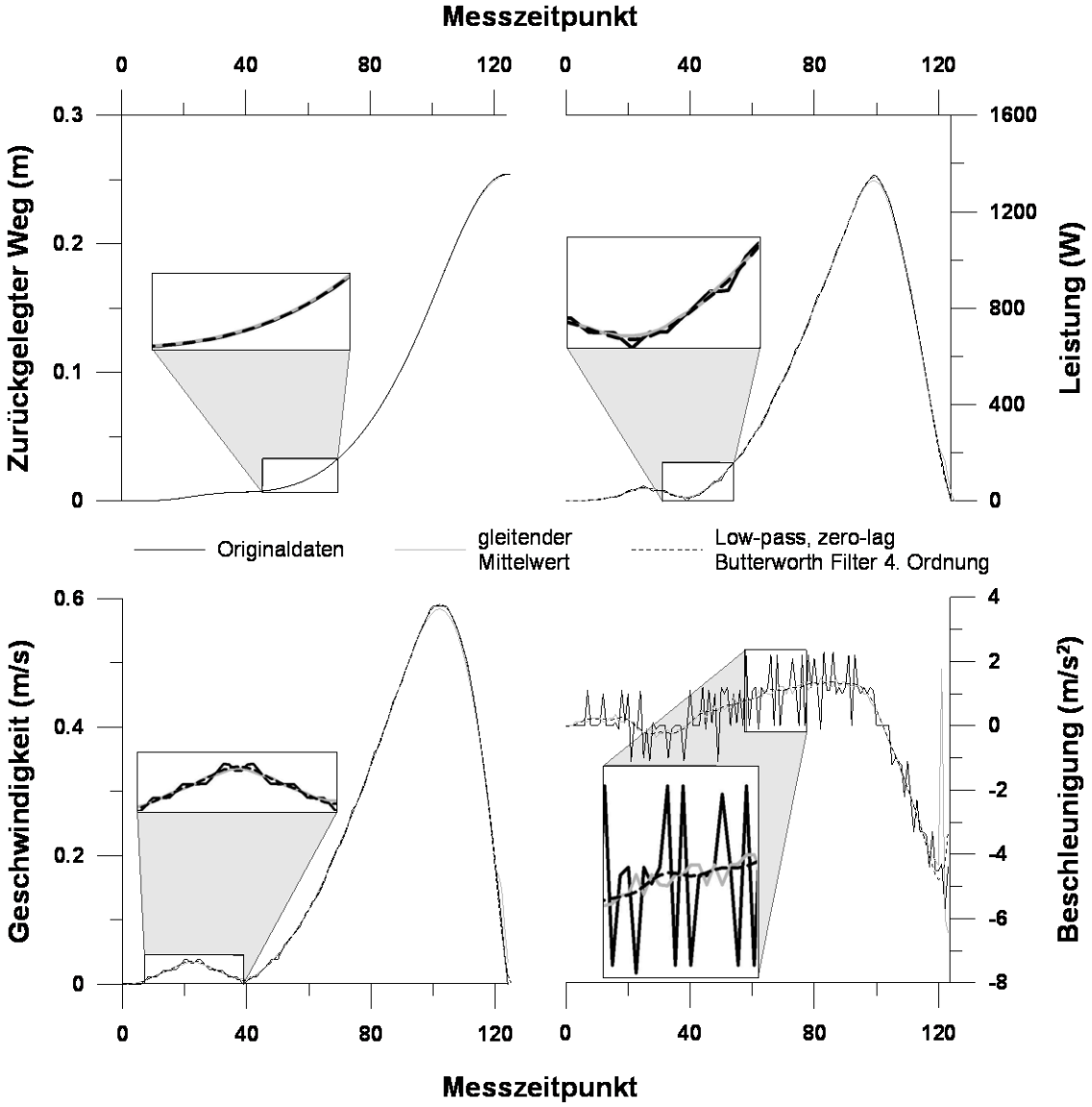

Abbildung 3-13: Vergleich verschiedener Datenfilter anhand der Ableitung der Daten des Seilzugwegaufnehmers. Auf die Darstellung polynomischer Glättung wurde verzichtet.

3.5.1 Verwendete Software

Die Glättung der Rohdaten sowie die Auswertung aller Parameter der muskulären Leistung und der Kraftentwicklung wurden in Microsoft® Visual Basic 6.0 für Microsoft® Office Excel 2003/2007 (Microsoft, USA) programmiert. Die Listings der erstellten VBA-Makros finden sich auf dem beiliegenden Datenträger im Anhang. Für den Butterworth Filter wurde das frei erhältliche Add-In von Van Wassenbergh (2007) benutzt, das auf den Formeln von Winter (2005, p. 45) beruht.

Formel 3-2: Butterworth Filter (Winter, 2005).

$$X^1(nT) = a_0X(nT) + a_1X(nT-T) + a_2X(nT-2T) + b_1X^1(nT-T) + b_2X^1(nT-2T)$$

$X^1 =$ gefilterte Variable
$X =$ ungefilterte Variable
$nT =$ n-ter Wert
$(nT-T) = (n-1)$ter Wert
$(nT-2T) = (n-2)$ter Wert
$a_0,\ldots,b_0\ldots =$ Filterkoeffizienten

Das Listing des Add-Ins findet sich im auf dem beiliegenden Datenträger im Anhang. Die Anpassung der Cutoff-Frequenz wurde entsprechend der bei Yu, Gabriel, Noble und An (1999, p. 327) publizierten Vorgehensweise vorgenommen:

1. Estimate the mean optimum cutoff frequency ($f_{c,1}$) for a given sampling frequency (f_s):

   Formel 3-3: Estimate the mean optimum cutoff frequency (Yu, 1999).

   $$f_{c,1} = 0.071f_s - 0.00003f_s^2$$

2. Filter the raw data at the estimated mean optimum cutoff frequency;
3. Calculate the relative mean residual ($\in$) between the filtered data and raw data:

   Formel 3-4: Calculate the relative mean residual (yu, 1999).

   $$\in = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N}(X_n - X')^2}{\sum_{n=0}^{N}(X_n - \overline{X})^2}} \cdot 100\%$$

4. Estimate the final optimum cutoff frequency ($f_{c,2}$):

   Formel 3-5: Estimate the final optimum cutoff frequency (Yu, 1999).

   $$f_{c,2} = 0.06f_s - 0.000022f_s^2 + 5.95\frac{1}{\in}$$

5. Filter the raw data using the second estimate of optimum cutoff frequency to have the final filtered output.

Die Integration von Kurven erfolgt mit dem Excel Add-In XNumbers.xla v5.6 (s. beiliegendem Datenträger im Anhang) nach Newton-Cotes (1. Ordnung, Funktion IntegrDataC) auf Basis der Trapezregel:

Formel 3-6: Integration von Kurven auf Basis der Trapezregel.

$$h = x_1 - x_0$$

$$\int_{x_0}^{x_1} f(x) \cong \frac{h}{2}(f_0 + f_1)$$

3.5.2 Auswahl und Triggerung der Kraft-Zeit-Kurve

Mit beiden Testlasten von 80% und 50% des 1 RM wurden jeweils drei Versuche durchgeführt, wovon jeweils der beste Versuch in die Auswertung einging. Die Auswahl des besten Versuchs erfolgte anhand der höchsten maximalen Leistung (P_{max}) (Jandacka & Vaverka, 2008):

> In general, mean power values obtained from the concentric phase are believed more reliable (10). However, this requires determination of exact start and end points of the concentric phase, which can be somewhat arbitrary, with small errors resulting in significant changes in resulting mean power. It is much more exact and faster to obtain peak power measurements, and if peak and mean power essentially reflect the same performance capability, it would be recommended to measure peak power. (Hori et al., 2007, p. 315)

Das Kriterium der kürzesten Bewegungszeit zur Auswahl des besten Versuchs wurde aufgrund der hohen Testlasten und der Testanweisung - der Fokus lag auf der explosiven und maximal kräftigen, nicht schnellen Bewegungsausführung - verworfen (Müller, 1987, S. 132).

Die Berechnung der in Tabelle 2-25 und 26 (Kapitel 2.4.5) dargestellten Parameter setzt die Triggerung folgender Punkte der Kraft-Zeit-Kurve voraus:

1. Beginn der Kraftentwicklung (t_0),
2. Ende der konzentrischen Phase (t_1).

zu 1, Beginn der Kraftentwicklung (t_0):

Eine Bestimmung des Bewegungsbeginns anhand der Positionsveränderung war in der vorliegenden Untersuchung nicht möglich. Geräteseitig kam es aufgrund der Lagerung des Gewichtsstapels auf Federn und Gummischeiben, des Spiels in den Lagern der Umlenkrollen und der Längung des Gurtes durch Kraftübertragung zu gewichtsabhängigen Varianzen.

Ein Kraftanstieg von mehr als 0.5 N/ms (Rohdaten) über 20 Messzeitpunkte in Folge, ausgehend vom Nullpunkt der Messung, diente als primäres Kriterium für den Beginn der Kraftentwicklung (Newton, Murphy, Humphries, Wilson, Kraemer, & Hakkinen, 1997). Die Bestimmung einer von Hohmann und Giggel (2005) vorgeschlagenen initialen Kraftschwelle (IRFD) von 20 N bzw. 15 N erwies sich unter den hier vorliegenden mehrgelenkigen dynamischen Bedingungen als ungeeignet. Konnte mittels des Kriteriums von 0.5 N/ms kein Beginn der Kraftentwicklung ermittelt werden, so wurde die Anzahl der Messzeitpunkte mit einem Kraftanstieg von mehr als 0.5 N/ms sukzessive mit jedem Schleifendurchlauf (Step -1) bis auf minimal 5 nacheinander ansteigende Messzeitpunkte reduziert.

Als sekundäre Bedingung für den Beginn der Kraftentwicklung wurde zusätzlich das Zurücklegen eines übungsabhängigen Minimalweges (Brustpresse: 1.5 mm, Beinpresse: 2.0 mm) betrachtet. Dieses Minimalwegkriterium ergab sich aus den vorliegenden Daten. Über dieses zusätzliche Kriterium konnte in nahezu allen Fällen der Beginn der Kraftentwicklung zuverlässig identifiziert werden. Eine alleinige Betrachtung des Kraftanstiegs führte häufig dazu, dass be-

reits das Einnehmen der muskulären Vorspannung als Bewegungsbeginn identifiziert wurde. Beide Kriterien wurden mittels eines Algorithmus (s. Datenträger im Anhang) objektiv bestimmt und mussten darüber hinaus anhand eines Kraft-Zeit-Kurvendiagramms vom Untersuchungsleiter bestätigt werden. Die subjektive Überprüfung war notwendig, da in einigen Ausnahmefällen trotz Berücksichtigung des sekundären Kriteriums das Einnehmen der muskulären Vorspannung bereits beide Kriterien des automatisch zu bestimmenden Beginns der Kraftentwicklung erfüllte.

zu 2, Ende der konzentrischen Phase (t_1):

Einen wichtigen Punkt bei der Auswertung von dynamischen Kraftkurven stellt die Festlegung des Endpunktes der konzentrischen Phase dar. In der vorliegenden Untersuchung wurde der maximal zurückgelegte Weg als Endpunkt der Bewegung festgelegt. Da die Probanden angewiesen wurden, die Bewegung nicht abzubrechen, ist dieses Vorgehen zur Erfassung der muskulären Leistung zweckmäßig und notwendig. Die dynamischen Testkontraktionen in der Beinpresse wurden – falls von der Testlast her möglich – als Sprung durchgeführt, wohingegen sich der Proband in der Brustpresse von dem Gewicht in der sitzenden Position nach vorne ziehen ließ. Durch diese Bewegungsanweisung werden geringere Kraft- und Geschwindigkeitswerten bei abgebremsten Bewegungen vermieden (Newton et al., 1996). An dieser Stelle sei auf die Notwendigkeit der Entwicklung eines Bremssystems für dynamische Kraftmessungen an Krafttrainingsmaschinen hingewiesen! Bei dynamischen Kraftmessungen stellt nicht das Ende der konzentrischen Phase das Problem dar, sondern das Rückführen der stark beschleunigten Last. Das Ende der konzentrischen Phase wurde folglich mit dem maximal zurückgelegten Weg gleichgesetzt. Als Basis wurde analog zur Bestimmung des Kraftanstiegs auf Rohdaten zurückgegriffen. Hierdurch konnte die aufwändige Filterung irrelevanter Rohdaten vermieden werden (s. beiliegendem Datenträger im Anhang).

3.6 Berechnung der Variablen

Im Folgenden werden die einzelnen Berechnungsschritte der Variablen dargestellt. Grundlage für die Darstellung bilden die im Excel-VBA[9] Skript verwendeten Routinen. Es werden nur die Berechnungsschritte dargestellt, die Aufschluss über die Berechnungsprozedur geben. Verwendete Konstanten sowie allgemeine Prozeduren sollen hier nicht erklärt werden, grundlegende Berechnungen werden vorab dargestellt. Für weitergehende Fragen sei auf die Dateien des beiliegenden Datenträgers im Anhang verwiesen.

3.6.1 Grundlegende Berechnungen

Die Berechnung der Geschwindigkeit und Beschleunigung erfolgte im Rahmen des Butterworth Filter Add-Ins auf Basis der Formeln bei Winter (2005, pp. 55–56):

Formel 3-7: Berechnung der Geschwindigkeit (Winter, 2005).

$$vx_i = \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{2\Delta t}$$

Formel 3-8: Berechnung der Beschleunigung (Winter, 2005).

$$ax_i = \frac{vx_{i+1} - vx_{i-1}}{2\Delta t}$$

Die Leistung (P) wurde aus der Kraft (F) und der Geschwindigkeit (v) berechnet:

Formel 3-9: Berechnung der Leistung.

$$P_i = F_i \cdot v_i$$

Die Kraftentwicklung (rate of force development, RFD), die Leistungsentwicklung (rate of power development, RPD) sowie die Geschwindigkeitsentwicklung (rate of velocity development, RVD, bzw. Beschleunigung) und die Beschleunigungsentwicklung (rate of acceleration development RAD) wurden analog zur Geschwindigkeit und Beschleunigung berechnet:

Formel 3-10: Rate of force development (RFD).

$$RFD_i = \frac{F_{i+1} - F_{i-1}}{2\Delta t}$$

Formel 3-11: Rate of power development (RPD).

$$RPD_i = \frac{P_{i+1} - P_{i-1}}{2\Delta t}$$

Formel 3-12: Rate of velocity development (RVD).

$$RVD_i = \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2\Delta t}$$

Formel 3-13: Rate of acceleration development (RAD).

$$RAD_i = \frac{a_{i+1} - a_{i-1}}{2\Delta t}$$

Die Normierung der Kraft (F_{norm}) auf die Maximalkraft (F_{max}) erfolgte mit folgendem Berechnungsschritt:

[9] Visual Basic for Applications

Formel 3-14: Normierung der Kraft (F_{norm}) auf die Maximalkraft (F_{max}).

$$F_{norm} = \frac{F}{F_{\max}} \cdot 100$$

Die Normierung der Kraftentwicklung (RFD_{norm}) auf die Maximalkraft (F_{max}) wurde analog durchgeführt:

Formel 3-15: Normierung der Kraftentwicklung (RFD_{norm}) auf die Maximalkraft (F_{max}).

$$RFD_{norm} = \frac{RFD}{F_{\max}} \cdot 100$$

3.6.2 Muskuläre Vorspannung

Die muskuläre Vorspannung stellte den Anfangswert der Kraft vor Beginn der konzentrischen Phase dar. Die Relativierung erfolgte anhand der maximalen Kraft F_{max}:

Formel 3-16: Relative muskuläre Vorspannung (relPre).

$$\text{relative muskuläre Vorspannung} = \frac{\text{muskuläre Vorspannung}}{\left(\frac{F_{\max}}{100}\right)}$$

3.6.3 Zurückgelegter Weg

Der zurückgelegte Gesamtweg (d_{max}) berechnete sich aus maximalen und minimalen Position:

Formel 3-17: Zurückgelegter Gesamtweg (d_{max}).

$$\text{zurückgelegter Weg} = \text{maximale Position - minimale Position}$$

3.6.4 Normalisierte Kurven

In Anlehnung an Cormie et al. (2008) erfolgte eine Normalisierung der Kraft-Zeit-, Leistungs-Zeit- und Geschwindigkeits-Zeit-Kurven, um charakteristische zeitliche Veränderungen der Kurven aller Probanden im Pre-Post-Vergleich beurteilen zu können. Hierzu wurden die jeweiligen Kurven von Versuchsbeginn bis -ende (vgl. Kapitel 3.5.2) über die Veränderung des Zeitintervalls (dt) so modifiziert, dass 100 Messwerte für jede Kurve vorlagen:

Formel 3-18: Normalisierung der Kraft-, Leistungs- und Geschwindigkeits-Zeit-Kurven (Cormie et al., 2008).

$$dt = \text{Anzahl der Samples im Originalsignal/100}$$

Das Resampling erfolgt mittels der Spline-Funktion des Excel Add-Ins XNumbers 5.6 (Foxes Team). Die Resampling-Frequenzen zeigen folgende Werte:

- Brustpresse 50% 1 RM: 140.18 ± 15.51 Hz (*n* = 46)
- Brustpresse 80% 1 RM: 87.48 ± 13.20 Hz (*n* = 46)
- Beinpresse 50% 1 RM: 124.02 ± 16.51 Hz (*n* = 32)
- Beinpresse 80% 1 RM: 89.76 ± 15.86 Hz (*n* = 32)

Somit entsprachen alle aufgezeichneten normalisierten Kurven einem relativen Zeitintervall von 0 bis 100%.

3.7 Auswertung der Trainingsdaten

Im Rahmen der Untersuchung wurden von den Probanden innerhalb einer Trainingseinheit alle Trainingssätze der Übungen Beinpresse und Brustpresse aufgezeichnet. Aus organisatorischen Gründen fand die Datenaufzeichnung nicht für jeden Probanden in der gleichen Trainingseinheit statt, sondern zwischen der 6. bis 8 Trainingseinheit. Anhand dieser Datenaufzeichnung wurden die Trainingsvorgaben hinsichtlich der Spannungsdauer für die einzelnen Bewegungsphasen überprüft:

1. konzentrische Phase,
2. isometrische Phase 1 am Ende der konzentrischen Phase,
3. exzentrische Phase,
4. isometrische Phase 2 am Ende der exzentrischen Phase.

Hierzu war eine Abgrenzung der vier Bewegungsphasen notwendig. Bevor mit der Abgrenzung der einzelnen Bewegungsphasen begonnen werden konnte, waren zunächst der Beginn und das Ende des Trainingssatzes zu bestimmen. Die Triggerung der Kraft-Zeit-Kurve zu Satzbeginn erfolgte mit dem in Kapitel 3.5.2 dargestellten Algorithmus für den Versuchsbeginn. Da in einem Trainingssatz andere Anforderungen an die Bestimmung des Satzendes gestellt wurden als an das Ende einer einzigen Wiederholung wie bei den zuvor beschriebenen Leistungsmessungen, musste ein neuer Algorithmus entwickelt werden. Für das Satzende wurde zunächst das erste Kriterium Kraft und bei vorliegenden positiver Rückmeldung das zweite Kriterium Position verwendet:

1. Kraft kleiner als zu Satzbeginn,
2. Position 30 Mal in Folge kleiner oder gleich 0.

Das identifizierte Satzende wurde markiert und anhand eines Kraft-Zeit-Kurvendiagramms vom Untersuchungsleiter bestätigt bzw. korrigiert. Die eingegrenzten Rohdaten wurden anschließend vor der weiteren Auswertung gefiltert (s. Kapitel 3.5.1). Entgegen der Vorgehensweise von Keogh, Wilson und Weatherby (Keogh, Wilson, & Weatherby, 1999, p. 250), nur die mittleren 60% der Wiederholungen zu betrachten, wurde in der vorliegenden Untersuchung die gesamte Wiederholung von 0-100% analysiert:

> These were calculated between 20-80 % of the total range of motion for each resistance training technique, so any inconsistencies in performance toward the extremities of motion did not affect the data obtained.

Die explosive Bewegungsausführung in der MSTex ließ hohe Werte der betrachteten Variablen zu Bewegungsbeginn erwarten.

Die Abgrenzung der oben genannten vier Wiederholungsphasen erfolgte anhand der ungefilterten Positions- und den gefilterten Geschwindigkeitswerten. Im Folgenden wird die Vorgehensweise dargestellt (vgl. Abbildung 3-14). In der Tabelle 3-4 werden zur Verdeutlichung der Abgrenzung der Bewegungsphasen die korrespondierenden Zahlenwerte zur Abbildung 3-14 dargestellt, detaillierte Algorithmen finden sich auf dem beiliegenden Datenträger im Anhang, weitere Betrachtungen bei Schmidt (2008):

1. Grobe Bestimmung des Endes der konzentrischen Phase über die ungefilterten Positionswerte:

   Positionswert d_i < Positionswert d_{i+1}

2. Ausgehend von diesem Punkt wurde in Richtung Bewegungsbeginn nach einem Geschwindigkeitswert größer oder gleich 0.2 m/s gesucht, d.h. Bewegungen von weniger als 2 cm pro Sekunde wurden als isometrische Kontraktion betrachtet:

   $v_i \leq 0.2$ m/s

3. Ausgehend von dem Beginn der isometrischen Phase 1 wurde in Richtung Bewegungsende nach dem Ende der isometrischen Phase 1 und somit den Beginn der exzentrischen Phase gesucht. Das Geschwindigkeitskriterium war hierfür auf kleiner gleich -0.2 m/s festgelegt, d.h. eine Bewegung von mehr als 2 cm pro Sekunde wurde als exzentrische Kontraktion eingestuft.

   $v_i \geq -0.2$ m/s

4. Das grobe Ende der exzentrischen Phase wurde über die ungefilterten Positionswerte bestimmt:

   Positionswert d_i > Positionswert d_{i+1}

5. Ausgehend von dieser groben Bestimmung des Endes der exzentrischen Phase erfolgte die Bestimmung der isometrischen Phase 2:

   Beginn (Suchrichtung Bewegungsbeginn) $v_i \leq -0.2$ m/s
   Ende (Suchrichtung Bewegungsende) $v_i \leq 0.2$ m/s

6. Das Ende der isometrischen Phase 2 markierte gleichzeitig den Beginn der nächsten konzentrischen Phase.

In der Abbildung 3-14 ist eine längere Dauer der konzentrischen und exzentrischen Bewegungsphase der ersten bzw. letzten Wiederholung durch das Abheben bzw. Absetzen des Gewichtes zu erkennen. Aus diesem Grund wird auf die Betrachtung dieser beiden Wiederholung bei der Auswertung der Trainingsdaten verzichtet.

In der Tabelle 3-4 werden zur Verdeutlichung der Abgrenzung der Bewegungsphasen die korrespondierenden Zahlenwerte zur Abbildung 3-14 dargestellt.

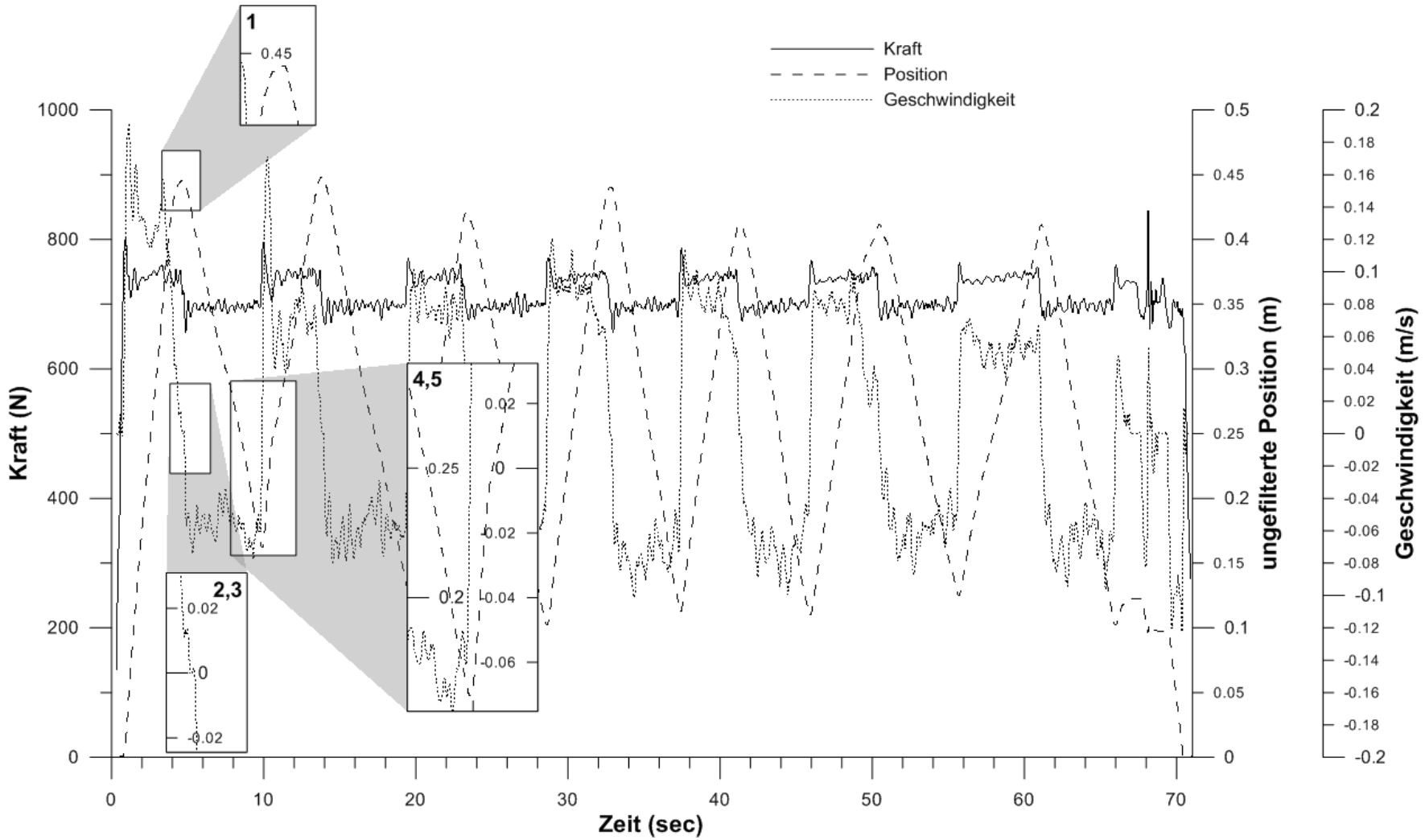

Abbildung 3-14: Exemplarischer Trainingssatz zur Verdeutlichung der Abgrenzung der Wiederholungsphasen am Beispiel Brustpresse, Gruppe EST.

Tabelle 3-4: Exemplarische Abgrenzung der vier Wiederholungsphasen am Beispiel Brustpresse, Gruppe EST.

Bewegungsphase	Zeit (sec.)	Kraft gefiltert (N)	Position (m)	Position gefiltert (m)	Geschwindigkeit (m/s)
	…	…	…	…	…
	4.3	738.736592	0.44	0.44004944	0.03440902
	4.31	736.480192	0.44	0.44038667	0.03300322
Ende konz. Phase Wdh.1 (Abbildung 3-14: 1,2,3)	4.32	734.775692	0.441	0.44070951	0.03145928
	4.33	733.640626	0.441	0.44101586	0.02969159
	4.34	733.059446	0.441	0.44130334	0.02767894
	4.35	733.000929	0.442	0.44156943	0.02543588
	4.36	733.407848	0.442	0.44181205	0.02312178
	4.37	734.190739	0.442	0.44203187	0.02102042
	4.38	735.241377	0.442	0.44223246	0.01925389
Beginn iso. Phase 1 Wdh. 1 (Abbildung 3-14: 2,3)	4.39	736.451834	0.442	0.44241695	0.01762661
	4.4	737.733104	0.443	0.442585	0.01586436
	4.41	739.028415	0.443	0.44273423	0.01398407
	…	…	…	…	…
	4.8	695.146824	0.445	0.44505459	-0.00416422
	4.81	687.591316	0.445	0.44499814	-0.0076306
Ende iso. Phase 1 Wdh. 1 (Abbildung 3-14: 2,3)	4.82	679.864654	0.445	0.44490198	-0.01208083
	4.83	672.492175	0.445	0.44475652	-0.01736112
Beginn exz. Phase Wdh. 1 (Abbildung 3-14: 2,3)	4.84	665.990986	0.445	0.44455476	-0.02311843
	4.85	660.789781	0.444	0.44429415	-0.02895772
	4.86	657.167074	0.444	0.4439756	-0.034656
	4.87	655.228419	0.444	0.44360103	-0.04010697
	…	…	…	…	…
	9.84	722.448156	0.163	0.16332692	-0.04174887
	9.85	729.393792	0.163	0.16293563	-0.03626952
Ende exz. Phase Wdh. 1 (Abbildung 3-14: 4,5)	9.86	736.835394	0.163	0.16260153	-0.03027461
	9.87	744.634249	0.162	0.16233014	-0.02366794
Beginn iso. Phase 2 Wdh. 1 (Abbildung 3-14: 4,5)	9.88	752.541814	0.162	0.16212817	-0.01644702
	9.89	760.265229	0.162	0.1620012	-0.00877711
	9.9	767.565805	0.162	0.16195263	-0.00081078
Ende iso. Phase 2 Wdh. 1 (Abbildung 3-14: 4,5)	9.91	774.283495	0.162	0.16198499	0.00741644
	9.92	780.292592	0.162	0.16210096	0.01588352
Beginn konz. Phase Wdh. 2 (Abbildung 3-14: 4,5)	9.93	785.46103	0.162	0.16230266	0.02447559
	9.94	789.649345	0.163	0.16259047	0.03307095
	9.95	792.756151	0.163	0.16296408	0.04169194
	9.96	794.779986	0.163	0.16342431	0.05038837
	…	…	…	…	…

exz., exzentrisch; iso., isometrisch; konz., konzentrisch; Wdh., Wiederholung.

Um die Vergleichbarkeit der Spannungsdauer der Einsatztrainingsgruppe und der beiden Mehrsatztrainingsgruppen zu gewährleisten, wurden die Spannungsdauern der einzelnen Wiederholungen der drei Trainingssätze der Mehrsatztrainingsgruppen summiert und mit der EST verglichen:

Formel 3-19: Summation der Spannungsdauer.

$$\sum \text{Phasendauer Wdh.} = \sum_{i=1}^{n} \text{Phasendauer Wdh.}_i \ \text{Satz}_i$$

Der Vergleich der Variablen der muskulären Leistung im Rahmen der Überprüfung der Trainingsvorgaben beschränkte sich auf die Leistung (P_{max}, iP) der konzentrischen Phase, da diese Variablen sowohl Kraft- als auch Geschwindigkeitsaspekte vereinen. Die Vergleichbarkeit der Trainingsgruppen wurde durch Mittelwertbildung der Leistungsvariablen(kP_{max}, kiP) für die einzelnen Wiederholungen der jeweiligen Trainingssätze hergestellt:

Formel 3-20: Mittlere maximale Leistung der konzentrischen Phase.

$$kP_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} P_{max_i}$$

Formel 3-21: Mittlere integrierte Leistung der konzentrischen Phase.

$$kiP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} iP_i$$

3.8 Erfassung der hormonellen Auslenkungen

Um akute Auslenkungen und trainingsbedingte Anpassungen des endokrinen Systems zu erfassen, wurden in der ersten und sechsten Trainingswoche jeweils vier Blutentnahmen direkt vor (Pre), direkt nach dem Training (Post0) sowie 15 Minuten (Post15) und 30 Minuten (Post30) nach dem Training bei insgesamt 20 Probanden für eine exemplarische Trainingseinheit analysiert. Die Probanden wurden zu beiden Messzeitpunkten zur gleichen Uhrzeit (zwischen 8.00 und 12. 00 Uhr) einbestellt, um circadiane Einflüsse auszuschließen. 24 Stunden vor der Blutentnahme wurde eine Trainings- und Genussmittelkarenz ausgesprochen. Die Nahrungsaufnahme vor dem ersten Messtermin wurde protokolliert und für den zweiten Messzeitpunkt übernommen. Die betrachteten Parameter waren hierbei Testosteron (T), Cortisol (C), insulin-like growth factor (IGF-1) und human growth hormone (hGH).

Den Probanden wurden nach kurzer Stauung 9.5 ml Blut aus der Ellenbeugevene entnommen. Zur Entnahme wurden Vacutainer® Blutentnahme-Systeme (Becton Dickinson, USA) verwendet. Nach einer mindestens 30-minütigen Gerinnungszeit wurden die Proben in einer gekühlten Zentrifuge bei 4° C und 3000 Umdrehungen (1862 x g) für 10 Minuten zentrifugiert. Der Überstand wurde in Reaktionsgefäße aliquotiert und bei -80° C gelagert. So konnte bei den später geplanten Analysen eine Serumprobe aufgetaut und ein Wiedereinfrieren vermieden werden. Testosteron wurde mit dem Elecsys 1010 der Firma Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Germany, zur Bestimmung von immunologischen Tests nach dem Electrochemilumineszenz-Verfahren bestimmt. IGF-1, Cortisol und hGH wurden mit einem kommerziellen ELISA der Firma DRG entsprechend der Arbeitsanweisung analysiert (Katalognr.: IGF-1: EIA-4140, hGH: EIA-3552, Cortisol: EIA-1887).

Zum Vergleich der gesamten post-hormonellen Auslenkung der einzelnen Trainingsformen wurde die „Area under curve with respect to increase“ (AUC_i) (Pruessner, Kirschbaum, Meinlschmid, & Hellhammer, 2003, p. 920) berechnet:

Formel 3-22: „Area under curve with respect to increase” (AUC_i, Pruessner et al., 2003).

$$AUC_i = \left(\sum_{i=1}^{n-1} \frac{(m_{i+1} + m_i)}{2} \right) - (n-1) \cdot m_1$$

mit m_i = einzelner Messpunkt und n = Anzahl der Messpunkte.

Die Formel gibt nicht die reale Fläche unter der Kurve zurück, da die konstante Zeitkomponente gleich 1 gesetzt wurde. Es handelt sich vielmehr um eine lineare Transformation der Fläche mit einer Korrelation von 1 zur realen Gesamtfläche. Die berechneten Werte sind somit als Index der Entwicklung zu betrachten.

3.9 Statistische Verfahren

Die formale Darstellung der Ergebnisse der statistischen Datenanalyse in Text und Tabellen erfolgt in Anlehnung an den Standard der Amercian Psychological Association (American Psychological Association, 2010).

3.9.1 Reliabilität der Variablen der muskulären Leistung

„Reliabilität bezeichnet das Ausmaß der Genauigkeit eines Tests“ (Bös, 2001, S. 545). Die Variation zwischen wiederholten Beobachtungen kann einerseits auf systematische biologische (Motivation, körperlicher Leistungszustand) und technologische (Messinstrumente, Testleiter) Faktoren zurückgeführt werden (systematic bias). Diese gilt es durch Standardisierung der Messbedingungen zu minimieren. Darüber hinaus beinhaltet die Variation wiederholter Beobachtungen zufällige Faktoren (random error). In der vorliegenden Untersuchung wurde die empirische Reliabilität im Sinne der Bedingungskonstanz mit der Test-Retest-Methode[10] überprüft. Die Beobachtungen zur Reliabilitätsanalyse wurden an einem Testtag erhoben. Für die Berechnung der Reliabilität wurden im Pre-Test die beiden besten Versuche (Kriterium P_{max}) in der Bein- und Brustpresse bei jeweils 80% und 50% des 1 RM aller Probanden betrachtet.

Die Prüfung der statistischen Reliabilität ausgewählter Variablen (vgl. Kapitel 24.5, Tabellen 2-25 und 2-26) wird in Anlehnung an Atkins und Nevill (1998), Goebel (2002, S. 152) und Hopkins (2000a) unter mehreren Gesichtspunkten bestimmt. Die absolute Reliabilität gibt Aufschluss über die Variabilität innerhalb der beobachteten Fälle. Bei der Beschreibung der absoluten Reliabilität haben sich der Standardfehler (*SEM*), die prozentuale mittlere Abweichung (*MD*) und der prozentuale Variationskoeffizient (*CV*) etabliert (Atkinson & Nevill, 1998). Letzterer kennzeichnet die Standardabweichung in Einheiten des arithmetischen Mittels (Sachs & Hedderich, 2006). Die Betrachtung der limits of agreement (LOA) findet in der Sportwissenschaft bis dato wenig Anwendung und ist redundant zum *CV* (Hopkins, 2000a). Vor Beginn der Reliabilitätsprüfung sind die Beobachtungen auf Normalverteilung und Heteroskedastizität (Varianzheterogenität) zu überprüfen. Die Normalverteilung wurde nach Sheskin (2004) mittels D'Agostino-Pearson Test geprüft ($\alpha \leq .05$):

Formel 3-23: D'Agostino-Pearson Test (Sheskin, 2004).

$$\chi^2 = z_{g_1}^2 + z_{g_2}^2$$

Die Betrachtung der Heteroskedastizität erfolgt visuell durch Streudiagramme (Ordinate: $|(X_i - Y_i)|$; Abzisse: $M(X_i Y_i)$) und Korrelation ($\alpha = .05$). Zeigen steigende Messwerte zunehmende Messfehler, so liegt eine Heteroskedastizität vor. Diese kann mit positiver Korrelation abgesichert werden. Eine festgestellte Verzerrung der Verteilung durch nicht normalverteilte Daten und Heteroskedastizität kann durch eine Log-Transformation kompensiert werden. Atkinson und Nevill (1998, p. 232) weisen darauf hin, dass - unabhängig von einer signifikant positiven Korrelation - die Berechnung der Reliabilität von einer Log-Transformation profitiert. Der Vorteil logarithmisch transformierter Variablen liegt in der Umwandlung eines multiplikativen prozentualen Fehlers in einen additiven prozentualen Fehler:

[10] Bei der Test-Retest-Methode wird der Test mit derselben Probandenstichprobe zweimal innerhalb eines definierten Zeitintervalls durchgeführt.

Formel 3-24: Log-Transformation (Hopkins, 2000a).

$$\log(Y \cdot error) = \log(Y) + \log(error)$$

Die Unabhängigkeit prozentualer Messwertgrößen hat sich in sportmotorischen Analysen als Maß der Reliabilität bewährt und lässt einen generellen Variationsbereich von 1% bis 5% (Hopkins, 2010) erwarten. In Anlehnung an Hopkins werden die Berechnungen der prozentualen *MD* und des prozentualen *CV* mittels Log-transformierter Werte als Betrachtung der absoluten Reliabilität durchgeführt. Auf eine Berechnung des *SEM* wurde aufgrund der Sensitivität gegenüber Mittelwertschwankungen verzichtet. Die Umrechnung mittels 100·log(Y) erschien aufgrund der Nähe zu den prozentualen Differenzen der Mittelwerte eingängiger. Die schrittweise Berechnung der *MD* und *CV* ist im Excel-Datenblatt von Hopkins (Hopkins, 2000b) bzw. an anderem Ort (Hopkins, 2000a) dargestellt:

Formel 3-25: Mittlere Differenz (*MD*; Hopkins, 2000b).

$$MD(\%) = 100\exp\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\ln(X_i) - \ln(Y_i)\right)\right) - 100$$

Formel 3-26: Variationskoeffizient (*CV*; Hopkins, 2000b).

$$CV(\%) = 100\exp\left(\frac{100}{\left(\sqrt{2}\cdot(n-1)\right)}\cdot\sum_{i=1}^{n}\left(\ln X_i - \ln Y_i\right)\right) - 100$$

In Anlehnung an Atkinson und Nevill (1998, p. 232) wurde ein *CV* < 10% als akzeptabel betrachtet.

Die mittlere Stabilität wurde mit dem Intraclasskorrelationskoeffizienten *r* (ICC_r) betrachtet. Die Berechnung erfolgte mittels Log-transformierter Werte nach Hopkins (Hopkins, 2000b):

Formel 3-27: Intraclasskorrelationskoeffizienten *r* (ICC_r; Hopkins, 2000b).

$$ICC_r = \frac{1 - SEM^2}{SD^2}, \text{mit } SD^2 = \frac{\left(df_i \cdot \sigma_i\right) + \left(df_j \cdot \sigma_j\right)}{\left(df_i + df_j\right)}$$

Hierbei liegt die Annahme zugrunde, dass die Berechnung des ICC_r die Varianz der Beobachtungen einschließt und somit durch eine Heteroskedastizität der Stichprobe beeinflusst sein könnte (zur Vertiefung Atkinson & Nevill, 1998).

Die Effektgröße *d* vergleicht die Kennwertstabilität der Mittelwerte und Standardabweichung hinsichtlich ihrer Reproduzierbarkeit (Kline, 2005):

Formel 3-28: Effektgröße *d* (Kline, 2005).

$$d = \frac{M_1 - M_2}{SD_{1,2}}, \text{ mit } SD_{1,2} = \sqrt{\frac{\left(SD_1^2 + SD_2^2\right)}{2}}$$

Liegt ein praktischer bedeutender Unterschied vor, wird ein vergleichender *t*-Test hinzugezogen (Goebel, 2002, S. 152).

Die relative Reliabilität betrachtet Veränderungen in der Rangfolge der einzelnen Fälle bei wiederholten Beobachtungen und ist somit weniger anfällig gegenüber Ausreißern und unabhängig von der Normalverteilung. Sie wurde mittels der Rangkorrelation nach Spearman (r_s)

berechnet (Atkinson & Nevill, 1998, p. 226). Abbildung 3-15 fasst die Vorgehensweise der Reliabilitätsbestimmung kurz zusammen:

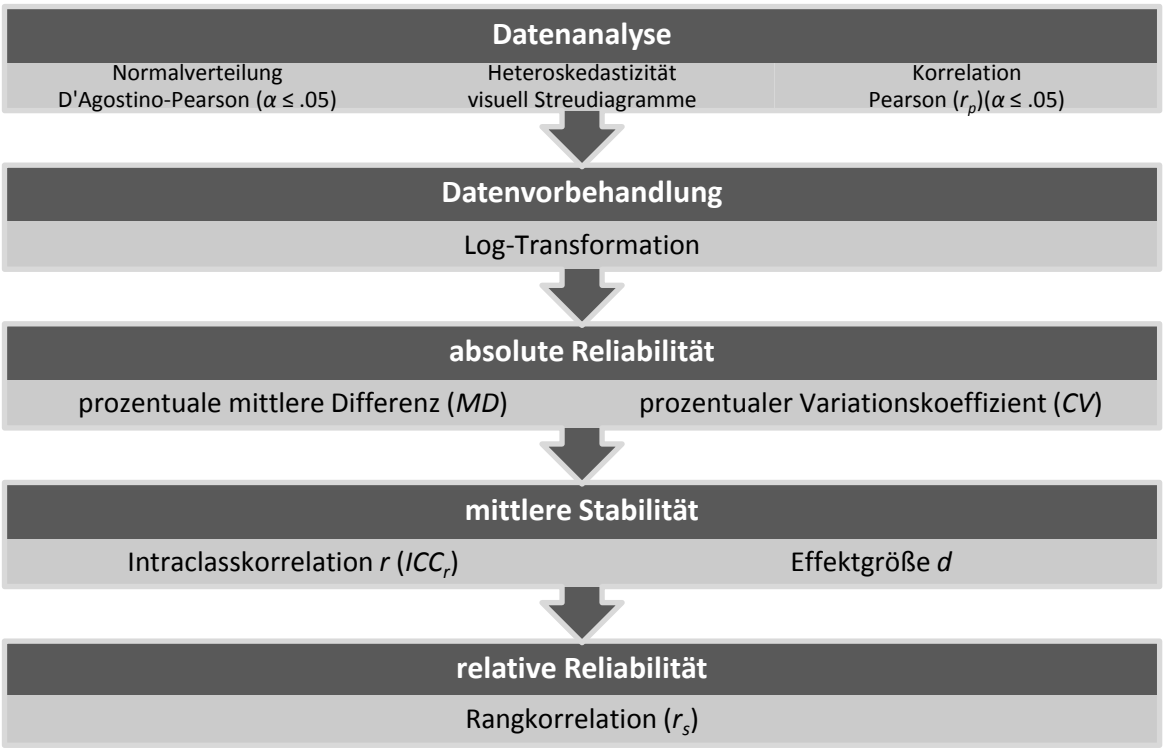

Abbildung 3-15: Vorgehensweise der Reliabilitätsanalyse.

Die Beurteilung der Reliabilitätskoeffizienten ICC_r und r_s erfolgte nach Bös (2001, S. 548), die Bedeutung der Effektgröße *d* nach Kline (2005, p. 133, Tabelle 3-5).

Tabelle 3-5: Beurteilung von Reliabilitätskoeffizienten (Bös, 2001, S. 548) und Effektgröße *d* (Kline, 2005, p. 133).

Reliabilitätskoeffizient	Beurteilung	Effektgröße *d*	Beurteilung
≥ .90	ausgezeichnet	.80	hoch
.80 - .90	sehr gut		
.70 - .80	annehmbar	.50	mittel
.60 - .70	mäßig		
≤ .60	gering	.20	gering

3.9.2 Datenreduktion

Die Vielzahl an möglichen Beobachtungsvariablen (vgl. Kapitel 2.4.5, Tabellen 2-25 und 2-26) macht eine Datenreduktion unabdingbar. Um latente Strukturen aufzudecken, wurden zunächst Korrelationen sowie explorative Faktorenanalysen des jeweils besten Testversuchs für Variablengruppen durchgeführt, die einen primären inhaltlichen Zusammenhang vermuten lassen:

- Startkraft
- Kraftentwicklung/Explosivkraft
- Kraft
- Impuls
- Leistung

- Geschwindigkeit
- Beschleunigung

Auf Basis der Korrelationen wurde die explorative Faktorenanalyse aller Beobachtungsvariablen mit schiefwinkliger Rotation (Direkte Oblimin Rotation mit Kaiser-Normalisierung, $\Delta = 0$) durchgeführt. Die Mustermatrix zeigt die Regressionskoeffizienten und gibt die direkten Wirkungen der Faktoren auf die Variablen wieder. Die Strukturmatrix gibt die Korrelation zwischen Faktoren und Variablen an und berücksichtigt sowohl direkte als auch indirekte Wirkungen. Eine Korrelationsmatrix zeigt die Zusammenhänge der extrahierten Faktoren. Aufgrund des Schätzcharakters bei der Berechnung der Faktorwerte und Generierung neuer Variablen (Janssen & Laatz, 1999, S. 460) wurde auf diesen finalen Schritt der Faktorenanalyse verzichtet. Darüber hinaus ließen neu berechnete Faktorwerte keine Einordnung der Ergebnisse in die Literatur zu. Stattdessen wurden die Korrelationen sowie die Beziehung der Faktoren zu den einzelnen Variablen interpretiert, um homogene Variablen zu identifizieren. Unter weiterer Berücksichtigung der statistischen Reliabilität konnte auf diesem Wege eine sinnvolle Datenreduktion erreicht werden.

3.9.3 Varianzanalyse mit Messwiederholung

Die statistische Datenanalyse (SPSS 17 für Windows©, SPSS Inc., USA) erfolgte mittels des Allgemeinen Linearen Models mit kompletter Messwiederholung, separat für jede Variable der muskulären Leistungsfähigkeit (vgl. Kapitel 2.4.5, Tabelle 2-25 und 2-26). Die Messwiederholung überprüft die Nullhypothese zu den Effekten von Zwischen- und Innersubjektfaktoren sowie die Auswirkungen einzelner Faktoren sowie Wechselwirkungen zwischen den Faktoren (vgl. Pospeschill, 2005, S. 7–121). Das Verfahren der Varianzanalyse mit Messwiederholung stellt eine Erweiterung des *t*-Tests für abhängige Stichproben dar (vgl. Bortz, 2005, S. 143-144, 331). Unzutreffende Schlussfolgerungen infolge erhöhter Irrtumswahrscheinlichkeiten, z. B. durch Mehrfachanwendung eines *t*-Tests auf die gleichen Daten, werden bei der Anwendung der Messwiederholung minimiert (vgl. Pospeschill, 2005, S. 6–70).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung setzt neben mindestens intervallskalierten Daten eine annähernde Normalverteilung und Varianzhomogenität der Daten voraus (Janssen, 2007, S. 245–251). Die Normalverteilung wurde visuell über Histogramme und Normalverteilungsdiagramme (Q-Q-Diagramm) geprüft, die mathematische Bestimmung erfolgte über den D'Agostino-Pearson Test (Sheskin, 2004, vgl. auch Formel 3-23). Die Beurteilung der Varianzhomogenität erfolgte mittels Levene-Test. Eine weitere Voraussetzungsprüfung stellt der Mauchly-Test auf Sphärizität dar. Verletzungen dieser Voraussetzungen können durch Epsilon-korrigierte Freiheitsgrade kompensiert werden (vgl. Bortz, 2005, S. 355, 745; Pospeschill, 2005, S. 7–125). Lag beim Mauchly-Test ein signifikantes Ergebnis und eine Verletzung der Sphärizität vor, so wurde zur Betrachtung univariater Tests der Innersubjekteffekte der korrigierte Epsilon-Wert nach Greenhouse-Geisser zu Grunde gelegt (Page, Braver, & MacKinnon, 2003, pp. 70–71).

Konnte ein signifikanter Interaktionseffekt festgestellt werden, so ist von einer Interpretation der beteiligten Haupteffekte abzusehen (Thomas & Nelson, 2001, p. 153). Bei signifikanten Effekten erfolgte die Unterschiedsprüfung zwischen den einzelnen Faktoren mittels geschätzter Randmittel (EMMEANS) des varianzanalytischen Verfahrens (kritische Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = .05$, Konfidenzintervall 95 %).

> EMMEANS displays estimated marginal means of the dependent variable in the cells (with covariates held at their overall mean value) and their standard errors of the means for the specified factors. These means are predicted, not observed, means. The estimated marginal means are calculated by using a modified definition by Searle, Speed, and Milliken (1980). (SPSS Inc., 2009, p. 839)

In dieser Berechnungsprozedur entspricht die geringste signifikante Differenz keinen Anpassungen für Mehrfachvergleiche. Die Aufklärung der Bedeutung eines Faktors für die Gesamtvariabilität wird mittels Eta-Quadrat-Statistik (η^2_p) beschrieben. Bestehen schon vor der Durchführung der Varianzanalyse Hypothesen zu Mittelwertunterschieden zwischen den Gruppen, können diese mittels Kontrasten geprüft werden. Prozentuale Angaben wurden vor ihrer inferenzstatistischen Betrachtung mittels arcsin-Wurzel-Transformation von der Binominalverteilung entkoppelt (Wheater & Cook, 2003; Dormann & Kühn, 2009).

Bei der Beurteilung des Signifikanzniveaus kann berücksichtigt werden, dass die mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung berechneten *p*-Werte auf einem zweiseitigen Test beruhen und somit nur für die Prüfung der ungerichteten (zweiseitigen) Hypothesen gelten. Für die Überprüfung der gerichteten (einseitigen Hypothesen) können die *p*-Werte halbiert werden, d. h. es wird z. B. $p/2 \leq .05$ geprüft (Bortz, 2005, S. 119). Dabei gilt es allerdings zu berücksichtigen, dass die Aufstellung gerichteter nur vorgenommen werden sollte,

> sofern eine zugrunde liegende begründete und anerkannte Theorie es zulässt. Die ist allerdings bei genauerer Betrachtung der Theorie nur selten gegeben. Häufig existieren Theorien für beide Richtungen der Mittelwertdifferenzen. In den meisten Fällen sollte daher zweiseitig getestet werden. (Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2008, S. 64)

Auf Basis der geringen Anzahl an empirischen Belegen für den vorliegenden Untersuchungsgegenstand wird - trotz zum Teil gerichteter Hypothesen - im Sinne eines konservativen Ansatzes zweiseitig getestet.

3.9.3.1 Trainingsvorgaben

Der Einfluss des Faktors Gruppe auf die Belastungskonfiguration wurde mittels einfaktorieller Varianzanalyse verglichen. Für die Post-hoc Mehrfachvergleiche kam der Bonferroni-Test zum Einsatz, da dieser bei ungleich großen Vergleichsgruppen exakte Ergebnisse liefert (Janssen, 2007, S. 367). Die Messwiederholung der Variablen der Trainingsvorgaben wurde mit dem Innersubjektfaktor Wiederholung (7 bzw. 9 Stufen, abhängig von der einfließenden Wiederholungsanzahl) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (EST, MST, MSTex) durchgeführt. Darüber hinaus erfolgte eine Betrachtung der Interaktionseffekte. Die durchgeführten Tests lieferten Aussagen über die Haupteffekte der zwei unabhängigen Faktoren „Gruppe“ und „Wiederholung“ sowie über die Effekte der Interaktion (Wechselwirkung) zwischen diesen Faktoren (Wiederholung*Gruppe) auf die abhängigen Variablen.

3.9.3.2 Maximal- und Sprungkraft

Die Messwiederholung der Maximal- und Sprungkraftvariablen wurde mit dem Innersubjektfaktor Messzeitpunkt (2 Stufen: Messzeitpunkt 1 und 2) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (EST, MST, MSTex, KON) durchgeführt. Darüber hinaus erfolgte eine Betrachtung der Interaktionseffekte. Die durchgeführten Tests lieferten Aussagen über die Haupteffekte der zwei unabhängigen Faktoren „Gruppe“ und „Messzeitpunkt“ sowie über die Effekte der Interaktion (Wechselwirkung) zwischen diesen Faktoren (Messzeitpunkt*Gruppe) auf die

abhängigen Variablen. A priori werden Kontraste gemäß der Hypothesen für die Prüfung höherer Maximal- und Sprungkraftwerte der EST, MST und MSTex gegenüber der KON definiert.

3.9.3.3 Muskuläre Leistung und relative muskuläre Vorspannung

Die Messwiederholung der Variablen der muskulären Leistung und der relativen muskulären Vorspannung wurde mit den zwei Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt (2 Stufen: Messzeitpunkt 1 und 2) und Testlast (2 Stufen: 80% und 50% 1 RM) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (EST, MST, MSTex, KON) durchgeführt. Darüber hinaus erfolgte eine Betrachtung der Interaktionseffekte. Die durchgeführten Tests lieferten Aussagen über die Haupteffekte der drei unabhängigen Faktoren „Gruppe“, „Messzeitpunkt“ und „Testlast“ sowie über die Effekte der Interaktion (Wechselwirkung) zwischen diesen Faktoren

- Messzeitpunkt*Gruppe,
- Testlast*Gruppe,
- Messzeitpunkt*Testlast und
- Messzeitpunkt*Testlast*Gruppe

auf die abhängigen Variablen.

Die Testlasten von 80% und 50% 1 RM wurden zusammen in einer Messwiederholung betrachtet, um mögliche Unterschiede in den Entwicklungen zwischen den beiden Testlasten aufzudecken zu können. Bei der Testübung Beinpresse hatte diese Vorgehensweise zur Folge, dass sich die Stichprobengröße aufgrund der fehlenden Werte für 80% 1 RM auch für die Testlast von 50% reduzierte. A priori werden Kontraste gemäß der Hypothesen für die Prüfung höherer muskulärer Leistungswerte der EST, MST und MSTex gegenüber der KON definiert.

3.9.3.4 Hormonelle Reaktionen

Die Messwiederholung der Variablen der hormonellen Reaktionen wurde mit den Innersubjektfaktoren Abnahmezeitpunkt (4 Stufen: Pre, Post0, Post15 und Post30) und Messzeitpunkt (2 Stufen: Messzeitpunkt 1 und 2) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (EST, MST, MSTex) durchgeführt. Darüber hinaus erfolgte eine Betrachtung der Interaktionseffekte. Die durchgeführten Tests lieferten Aussagen über die Haupteffekte der drei unabhängigen Faktoren „Gruppe“, „Messzeitpunkt“ und „Abnahmezeitpunkt“ sowie über die Effekte der Interaktion (Wechselwirkung) zwischen diesen Faktoren

- Messzeitpunkt*Gruppe,
- Abnahmezeitpunkt*Gruppe,
- Messzeitpunkt* Abnahmezeitpunkt und
- Messzeitpunkt* Abnahmezeitpunkt *Gruppe

auf die abhängigen Variablen.

3.9.4 Praktische Bedeutsamkeit des experimentellen Effekts

Die praktische Bedeutsamkeit des experimentellen Effekts wurde anhand der Effektgröße bzw. Effektstärke betrachtet. In der Literatur (Bortz, 2005; Thomas & Nelson, 2001; Fröhlich & Pieter, 2009) hat sich eine Einteilung herausgebildet, die auf Cohen (1988) basiert und in folgender konventioneller Richtlinie der Effektgröße *d* mündet:

- 0.2 entspricht einem geringen Effekt,
- 0.5 entspricht einem mittleren Effekt,
- 0.8 entspricht einem großen Effekt.

Die Basis der Effektgröße bildete die Beurteilung von Korrelationen. Ihre 1 zu 1 Übernahme für die Beurteilung von Mittelwertunterschieden wird von Hopkins (2010) kritisch betrachtet. Unter Berücksichtigung einfacher Umrechnungen kommt Hopkins zu der in Tabelle 3-6 dargestellten Einteilung der Effektgröße für Mittelwertvergleiche.

Tabelle 3-6: Praktische Bedeutsamkeit der Effektgröße für Mittelwertvergleiche (mod. nach Hopkins, 2010).

	Praktische Bedeutsamkeit der Effektgröße						
	trivial	gering	mittel	hoch	sehr hoch	fast perfekt	perfekt
Effektgröße	0.0	0.2	0.6	1.2	2.0	4.0	∞

Für die vorliegende Arbeit wird auf die konventionelle Einteilung nach Cohen zurückgegriffen. Im Folgenden werden kurz die benutzten Berechnungsverfahren dargelegt.

Die klassische Effektstärke normiert die Unterschiede zwischen einer unabhängigen Experimentalgruppe (EG) und Kontrollgruppe (KG) auf die Streuung der Testwerte, wobei die gepoolte Standardabweichung die Schätzung optimiert (Fröhlich & Pieter, 2009):

Formel 3-29: Effektstärke *d* (Fröhlich & Pieter, 2009).

$$d = \frac{\left(\overline{X}_{EG} - \overline{X}_{KG}\right)}{s_{gepoolt}}$$

mit

Formel 3-30: Gepoolte Standardabweichung (Fröhlich & Pieter, 2009).

$$s_{gepoolt} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Das 95%ige Konfidenzintervall (*KI*) kann hierbei unter Verwendung der *z*-Verteilung über den Standardfehler s_d nach Westermann (2000, S. 355) geschätzt:

Formel 3-31: Standardfehler (Westermann, 2000).

$$s_d = \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} + \frac{d^2}{2\left(n_1 + n_2\right)}}$$

Formel 3-32: Schätzung des Konfidenzintervalls (*KI*; Westermann, 2000).

$$KI = d \pm \left(s_d \cdot 1.96\right)$$

Für kleinere Stichproben ($n < 30$) ist die *t*-Verteilung zu wählen (Bortz, 2005, S. 103). Mit den angegebenen Formeln lässt sich ebenfalls die Effektstärke für abhängige Stichproben berechnen. Hierbei wird der Pre-Test als KG behandelt und der Post-Test als EG.

4 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit erfolgt eine gemeinsame Darstellung und Diskussion inhaltlich zusammenhängender Ergebnisse. Die Vorgehensweise ist aufgrund der hohen Informationsdichte zu Gunsten einer besseren Verständlichkeit und zur Vermeidung von Wiederholungen bewusst gewählt worden.

Die Effektivitätsprüfung betrachtet die Veränderungen der Maximalkraft, der Schnellkraft und der akuten hormonellen Auslenkungen. Die Ergebnisse werden jeweils einzeln dargestellt, im Rahmen der Hypothesenbesprechung tabellarisch zusammengefasst und auf Basis der theoretischen Vorbetrachtungen und den möglichen Adaptationsmechanismen (Crewther et al., 2006; Fleck & Kraemer, 2004; Folland & Williams, 2007; Wernbom et al., 2007; Sale, 2003; Spiering et al., 2008) in die Literatur eingeordnet.

Bevor die Effektivitätsprüfung der Trainingsintervention vorgenommen werden kann, identifizieren die Test-Retest-Reliabilitätsbetrachtungen literaturbasierender Schnellkraftvariablen (vgl. Kapitel 2.4) die Variablen, die für die Effektivitätsprüfung der Trainingsintervention herangezogen werden können. Eine zusätzliche objektive Überprüfung der Trainingsvorgaben anhand von Datenaufzeichnungen einer exemplarischen Trainingseinheit erlaubt eine detaillierte Spezifizierung des Trainingsreizes der einzelnen Gruppen. Eine Betrachtung des Trainingsvolumens in den Trainings- und Testübungen Bein- und Brustpresse ergänzt die Überprüfung der Trainingsvorgaben.

4.1 Test-Retest-Reliabilitätsbetrachtungen

Die Einordnung der Ergebnisse zur Test-Retest-Reliabilität der einzelnen Variablen wird durch methodische Unterschiede in der Berechnung (Hopkins, 2000a) erschwert. Ein Großteil der vorliegenden Untersuchungen - vor allem die Untersuchungen aus älteren Jahren - verwendet den Reliabilitätskoeffizienten zur Beurteilung der Wiederholbarkeit von Messungen (Letzelter, Letzelter, & Steinmann, 1990). Der aktuelle Stand von Test-Retest-Reliabilitätsbetrachtungen (vgl. Kapitel 3.9.1) beruht neben dem Reliabilitätskoeffizienten und anderen Kennwerten vor allem auf dem Variationskoeffizienten (*CV*). Die Vorgehensweise der folgenden Reliabilitätsprüfung ist an anderer Stelle (Abbildung 3-15) veranschaulicht.

Die ausführlichen Test-Retest-Reliabilitätsbetrachtungen der einzelnen Variablen der Schnellkraftoperationalisierung mit den vollständigen Abbildungen, Tabellen und Faktorenanalysen sowie einer ausführlichen Beschreibung finden sich im Anhang III. An dieser Stelle erfolgt eine zusammenfassende Darstellung. Insgesamt wurden 67 Variablen (Tabelle 2-25 und 2-26) auf Test-Retest-Reliabilität geprüft.

4.1.1 Startkraft, Kraftentwicklung und Kraft

Für die Auswertung der Startkraft werden die frühen Startkraftvariablen (STK_{20-60}) aufgrund der nicht annehmbaren absoluten Reliabilität (*CV* von 16% - 41%) bei geringen bis mäßigen (Brustpresse, ICC_r = .497 - .701) bzw. mäßigen bis annehmbaren (Beinpresse, ICC_r = .611 - .780) mittleren Stabilitäten verworfen. Auffällig ist die hohe Korrelation zur muskulären Vorspannung: je höher die muskulären Vorspannung, desto höher fällt die Startkraft aus. Bei näherer Betrachtung offenbart sich die Ursache in der Berechnung der Startkraftvariablen: in der Literatur wird hierbei der reine Kraftwert für definierte Anzahl von Millisekunden nach Kontraktionsbeginn erfasst. Für zukünftige Untersuchungen ist eine Korrektur der Startkraftvariablen um den Wert der vorab zu definierenden muskulären Vorspannung zu fordern. Die hier festgestellten Reliabilitätskoeffizienten decken sich mit denen bei Letzelter et al. (1990) berichteten Größenordnungen von .73 bis .84. Müller (1987, S. 103) konnte bei isometrischen Messungen eine Retest-Reliabilität (r_{tt}) von .69 nachweisen. Hohmann und Giggel (2005) schlagen zur Lösung des Reliabilitätsproblems die Bestimmung einer initialen Kraftentwicklung (IRFD, vgl. Formel (2-4)) vor, die sich unter isometrischen Bedingungen mit einem r_{tt} von .87 bis .90 bewährt hat. Die Startkraft bis ⅙ des dynamischen Kraftmaximums (STK⅙) zeigt sowohl für eine Testlast von 50% als auch 80% 1 RM aufgrund einer muskulären Vorspannung von mehr als ⅙ des dynamischen Kraftmaximums (F_{max}) für 15% bis 41% der Fälle Nullwerte (vgl. Anhang III.1). Auch an dieser Stelle wird das Problem der muskulären Vorspannung offensichtlich und somit diese Variable bei der weiteren Betrachtung vorab ausgeschlossen. Schmidtbleicher (1980, S. 52) hingegen berichtete von einer Retest-Reliabilität von .93 und .97 für die STK⅙. Mit Ausnahme der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM (*CV* = 11%, ICC_r = .826 - .835) weisen die STK_{100} und der S-Gradient hohe Variationskoeffizienten (16% - 32%) und mäßige bis mittlere Stabilitäten (ICC_r = .596 - .721) auf. Der S-Gradient ist aufgrund der mäßigen Reliabilität bei der Erfassung der Zeitwerte bis 50% der F_{max} (Müller, 1987, S. 103) als Quotient zur Erfassung der Schnellkraft unbrauchbar. Folglich werden auch diese Startkraftvariablen aufgrund zu geringer Reproduzierbarkeit aus der Auswertung ausgeschlossen.

Für die Auswertung der Kraftentwicklung werden die frühen Kraftentwicklungsvariablen (RFD_{30-100}) aufgrund der unannehmbar absoluten Reliabilität (*CV* = 30% - 55%) bei geringen bis

mäßigen (Brustpresse: ICC_r = .282 - .735) bzw. geringen bis annehmbaren (Beinpresse: ICC_r = .566 - .701) mittleren Stabilitäten verworfen. Unterstützt wird diese Entscheidung durch eine hohe negative Korrelation zur muskulären Vorspannung, d.h. bei zunehmender muskulärer Vorspannung sinkt die frühe Kraftentwicklung. Gründe hierfür können in einer Ermüdung der höherrangigen Motorischen Einheiten sowie einer Verringerung der Arbeit und Leistung der kontraktilen Komponente und somit des gesamten Muskel-Sehnen-Komplexes liegen (vgl. Kapitel 2.4.2). Studien, in denen diese Variablen verwendetet wurden (Aagaard et al., 2002; Aagaard et al., 2007; Suetta et al., 2007) bleiben Angaben zur Reliabilität schuldig. Es ist allerdings anzunehmen, dass unter den isokinetischen Testbedingungen der genannten Studien, die muskulären Vorspannungsprobleme nicht auftraten. Die Ursache dafür ist in den Messbedingungen zu finden: isokinetische Testgeräte sind durch einen Motor gebremst und benötigen keine, vom Probanden erzeugte, muskuläre Vorspannung, damit die Kraft erfassenden Komponenten des Systems unter Spannung stehen. Messungen unter dynamischen Bedingungen an Krafttrainingsgeräten, so wie sie in der vorliegenden Untersuchung durchgeführt wurden, benötigen eine aktive Spannung der am Messvorgang beteiligten mechanischen Struktur (Hebelarm bzw. Schlitten, Kraftübertragungsgurt und Umlenkrollen sowie Gewichtsschwert und federnd gelagerter Gewichtsstapel). Diese wird vom Probanden generiert. Die weiteren Kraftentwicklungsvariablen (RFD_{200}, RFD_{max}, RFD_{mit}, RFD_{rel}½, RFD_{rel}⅔) zeigen in der Brustpresse einen Variationskoeffizienten von 8% - 17% bei annehmbarer bis sehr guter mittlerer Stabilität (ICC_r = .610 -.866). Die Testübung Beinpresse weist Variationskoeffizienten von 13% - 29% bei ebenfalls annehmbarer bis sehr guter mittlerer Stabilität (ICC_r = .712 - .856) auf. Von diesen verbleibenden Kraftentwicklungsvariablen wird die RFD_{max} als Variable für weitere Auswertungen ausgewählt. Sie hat sich als Betrachtungsstandard in der Literatur etabliert (vgl. Kapitel 2.4.4) und weist als einzige Variable konstante absolute (*CV* = 10% - 14%) und relative (r_s = .810 bis .860) Reliabilitäten sowie mittlere Stabilitäten (ICC_r = .782 - .866) bei beiden Testübungen und -lasten auf.

Eine Übersicht zu der Reliabilität der Kraftentwicklung unter isometrischen Bedingungen findet sich bei Wilson, Lyttle, Ostrowski und Murphy (1995). Die Reliabilitätskoeffizienten liegen zwischen .76 und .98, je nach getesteter Muskelgruppe. Einfache Bewegungen wie z.B. die Fingerflexion weisen höhere Koeffizienten auf als komplexe Arm-Schulter-Bewegungen. Tusker (1994, S. 50) konnte für die RFD_{max} Reliabilitätskoeffizienten von .71 und für die RFD_{mit} von .60 für die Kniestreckung unter isometrischen Bedingungen feststellen. Cronin, McNair und Marshall (2003b) konnten im Bankdrücken an der Smith-Maschine eine Reliabilität von ICC_r = .85 bis .99 für die F_{mw} und F_{max} nachweisen, die Kraftentwicklung wurde nicht betrachtet. Unter isometrischen Bedingungen liegt diese bei .90 (Frauen) und .89 (Männer). Mirkov et al. (2004) zeigen in der dynamischen Ellbogenflexion und -extension für die RFD_{max} einen ICC_r von .87 bzw. .81, für die RFD_{rel} beläuft sich der ICC_r auf .83 bzw. .81. Hohmann und Giggel (2005) berichten bei Armstreckbewegungen von einer Test-Retest Reliabilität der dynamischen RFD_{max} von .60 (Frauen) und .87 (Männer). Für den Mittelzug im Gewichtheben fanden Haff et al. (2005) einen ICC_r von .98 für die RFD_{max}.

Für die Auswertung der Kraft werden die frühen Kraftvariablen (iF_{30-200}) und die iFF_{max} aufgrund der unannehmbar absoluten Reliabilität (*CV* = 11% - 41%) bei geringen bis annehmbaren mittleren Stabilitäten (ICC_r = .533 - .904) verworfen. Unterstützt wird diese Entscheidung durch eine hohe Korrelation zur muskulären Vorspannung, d.h. je höher die muskuläre Vorspannung

ist, desto höher sind die Werte der frühen Kraftvariablen. Mirkov et al. (2004) fanden für die Kraft nach 100 ms einen ICC_r von .71 bis .82. Weitere Reliabilitätskoeffizienten aus der Literatur können hierzu nicht berichtet werden. Die F_{max} und F_{mw} weisen in beiden Testübungen bei Testlasten von 50% und 80% 1 RM Variationskoeffizienten von 2% bis 5% bei ausgezeichneter mittlerer Stabilität (ICC_r = .945 - .989) auf. Die Faktorenanalyse zeigt, dass beide Variablen auf der gleichen Komponente hoch laden. Aufgrund des im Mittel geringeren Variationskoeffizienten und der höheren mittleren Stabilität wird die F_{max} in die weitere Auswertung einbezogen und die F_{mw} verworfen.

Bosco et al. (1995) weisen für die F_{max} in der Kniebeuge eine Reliabilität zwischen den Versuchen von r = .76 und einen CV von 1.6% aus. Diese wurde an dem gleichen Gerät von Rahmani, Dalleau, Viale, Hautier und Jean-Rene (2000) mit einem ICC_r von .70 - .90 bestätigt. Die hohe Reliabilität der F_{max} berichten ebenfalls Mirkov et al. (2004) mit einem ICC_r von .85 bis .92. An unterschiedlichen Testtagen beträgt die Reliabilität .88 und der CV 1.4%. Für den Mittelzug im Gewichtheben fanden Haff et al. (2005) einen ICC_r von .98 für die F_{max}. In einer Methodenuntersuchung zum Hangreißen und zur Sprungkniebeuge berichten Hori et al. (2007) einen ICC_r von .89 bzw. .94 und einen CV von 4.7% in beiden Übungen für die F_{max}.

4.1.2 Leistung, Geschwindigkeit und Beschleunigung und deren Entwicklung

Für die Auswertung der Leistung werden die frühen Leistungsvariablen (iP_{30-200}) aufgrund der unannehmbar absoluten Reliabilität (CV: 21% - 62%) bei geringen bis ausgezeichneten (50% 1 RM: ICC_r = .462 - .946) bzw. geringen bis annehmbaren (80% 1 RM: ICC_r = .413 - .770) mittleren Stabilitäten verworfen. Reliabilitätskoeffizienten aus der Literatur können hierzu nicht berichtet werden. Die RPD_{max} weist für die Brustpresse einen Variationskoeffizienten von 8% (50% 1 RM) bzw. 12% (80% 1 RM) bei sehr guter bis ausgezeichneter mittlerer Stabilität (ICC_r = .865 - .902) auf. Die Testübung Beinpresse zeigt einen Variationskoeffizienten von 16% (50% 1 RM) bzw. 14% (80% 1 RM). Aufgrund der annehmbaren bis sehr guten mittleren Stabilität (ICC_r = .741 - .802) und relativen Reliabilität (r_s = .750 - .800) wird die maximale momentane Leistungsentwicklung in die weitere Auswertung einbezogen. Zu diesen Variablen können aus der Literatur keine Vergleichswerte geliefert werden. Die P_{max}, P_{mw} und das iPP_{max} weisen in beiden Testübungen bei 50% und 80% 1 RM Variationskoeffizienten von 3% bis 10% bei sehr guter bis ausgezeichneter mittlerer Stabilität (ICC_r = .830 - .981) auf. Die Faktorenanalyse zeigt, dass die drei Variablen hoch auf der gleichen Komponente laden. Aufgrund des im Mittel geringeren Variationskoeffizienten und der höheren mittleren Stabilität wird die P_{max} in die weitere Auswertung einbezogen und die P_{mw} sowie iPP_{max} verworfen.

Hopkins, Schabort und Hawley (2001) berichten in ihrem Übersichtsartikel Variationskoeffizienten von 3.3% bis 6.5% für die P_{max} und P_{mw} unter dynamischen Bedingungen. Für die Leistung unter isokinetischen Testbedingungen liegen diese zwischen 2% und 10%. Bosco et al. (1995) weisen für die P_{mw} in der Kniebeuge eine Test-Retest-Reliabilität zwischen Versuchen am gleichen Testtag von r = .84 und einen CV von 5.0% aus. An unterschiedlichen Testtagen beträgt das r = .85 und der CV = 3.7%. Rahmani et al. (2000) fanden für das gleiche Testgerät lastabhängige Reliabilitäten (ICC_r) der P_{max} von .57 (80 kg) bis .91 (160 kg). Die liegende Kniebeuge in einer Kniebeugenmaschine offenbart bei Cronin et al. (2003a) Reliabilitäten der P_{max} von ICC_r = .988 (zwischen den Versuchen) und ICC_r = .958 (zwischen unterschiedlichen Tagen) bei einem CV = 3.6%. Einen Reliabilitätskoeffizient von ≥ .95 zeigen

Cormie et al. (2007) bei ihren Untersuchungen der Sprungkniebeuge. In einer Methodenuntersuchung zum Hangreißen und zur Sprungkniebeuge berichten Hori et al. (2007) einen ICC_r von .89 bis .91 für beide Übungen bei einem *CV* von 6.2% bis 6.7% bzw. 3.3% bis 3.9% für die P_{max} und P_{mw}.

Für die Auswertung der Geschwindigkeit werden die frühen Geschwindigkeitsvariablen (iv_{30-200}) aufgrund der unannehmbar absoluten Reliabilität (*CV* = 17% - 44%) bei geringen bis ausgezeichneten (50% 1 RM, ICC_r = .376 - .922) bzw. geringen bis annehmbaren (80% 1 RM, ICC_r = .200 - .849) mittleren Stabilitäten verworfen. Vergleichswerte aus der Literatur können nicht gegeben werden. Die RVD_{max} weist für die Brustpresse einen Variationskoeffizienten von 6% (50% 1 RM) bzw. 10% (80% 1 RM) bei sehr guter mittlerer Stabilität (ICC_r = .855 - .883) auf. Die Testübung Beinpresse zeigt einen Variationskoeffizienten von 12% bei mäßiger (50% 1 RM) bis annehmbarer (80% 1 RM) mittlerer Stabilität. Die RVD_{max} wird in die weitere Auswertung aufgenommen. Die v_{max}, v_{mw} und ivv_{max} weisen in beiden Testübungen bei Testlasten von 50% und 80% 1 RM Variationskoeffizienten von 3% bis 10% bei sehr guter bis ausgezeichneter mittlerer Stabilität *(*ICC_r = .801 - .983) auf. Die Faktorenanalyse zeigt, dass die drei Variablen hoch auf dem gleichen Faktor laden. Aufgrund des im Mittel geringeren Variationskoeffizienten und der höheren mittleren Stabilität wird die v_{max} in die weitere Auswertung einbezogen und die v_{mw} sowie ivv_{vmax} verworfen.

Für die Kniebeuge berichten Rahmani et al. (2000) für die v_{max} einen lastabhängigen ICC_r von .62 bis .90. Cronin et al. (2003b) konnten im Bankdrücken an der Smith-Maschine eine Reliabilität von ICC_r = .85 - .99 für die v_{mw} und v_{max} nachweisen. Der Ausfallschritt weist bei Cronin et al. (2003a) Reliabilitäten der v_{max} von ICC_r = .936 (zwischen den Versuchen) und ICC_r = .863 (an unterschiedlichen Tagen) bei einem *CV* von 5.8% auf. In einer Methodenuntersuchung zum Hangreißen und zur Sprungkniebeuge berichten Hori et al. (2007) für die v_{max} einen ICC_r von .89 bzw. .84 bei einem *CV* von 3.1% bzw. 2.5%.

Für die Auswertung der Beschleunigung werden die Integrale unter der Beschleunigungs-Zeit-Kurve (ia_{30-200}, iaa_{max}) aufgrund der unannehmbar absoluten Reliabilität (*CV*: 11% - 144%) bei geringen bis sehr guten (50% 1 RM: ICC_r = .397 - .847) bzw. geringen bis annehmbaren (80% 1 RM: ICC_r = .255 - .750) mittleren Stabilitäten verworfen. Die mittlere Beschleunigung (a_{mw}) zeigt für beide Testübungen sehr hohe Variationskoeffizienten (51% - 78%) bei geringer Stabilität (ICC_r = .416 - .576). Folglich wird die a_{mw} aus der weitergehenden Auswertung ausgeschlossen. Die RAD_{max} weist für die Brustpresse einen Variationskoeffizienten von 16% (50% 1 RM) bzw. 46% (80% 1 RM) bei annehmbarer bzw. geringer mittlerer Stabilität (ICC_r = -.148 - .795) auf. Die Testübung Beinpresse zeigt Variationskoeffizienten von 27% (50% 1 RM) bis 36% (80% 1 RM) bei mäßiger mittlerer Stabilität (ICC_r = .605 -.653). Aus diesem Grund wird die RAD_{max} ebenfalls verworfen. Auf Basis der dargestellten Reliabilitätsprobleme wird keine der betrachteten Beschleunigungsvariablen in die weitere Auswertung aufgenommen. Vergleichende Reliabilitätskoeffizienten aus der Literatur zu Beschleunigungsvariablen liegen nicht vor.

4.1.3 Schnellkraftvariablen nach Zatsiorsky

Für die Auswertung der Schnellkraftvariablen nach Zatsiorsky (Schnellkraftindex, Reaktivitätskoeffizient, A-Gradient) werden alle drei Variablen verworfen. Diese zeigen in beiden Testübungen und Testlasten eine unannehmbare absolute Reliabilität (*CV* = 13% - 30%) bei mäßig bis sehr guter (Brustpresse: ICC_r = .669 - .898) bzw. geringer bis annehmbarer mittlerer Stabilität (Beinpresse: ICC_r = .346 - .777).

> Beim Schnellkraftindex ist nicht der Zähler, also die Maximalkraft, die Schwachstelle, sondern der Nenner. Die Reliabilität von t_{max} ist nämlich ganz und gar ungenügend. Damit ist der Schnellkraftindex für jede Form der Kraftdiagnostik ungeeignet. (Letzelter et al., 1990, S. 49)

Die bei Letzelter et al. (1990) angegebene Reliabilität liegt zwischen .08 und .33.

Tusker (1994) findet für den Schnellkraftindex (SKI) einen Test-Retest-Koeffizienten von .481, die Reliabilität von t_{max} wird mit .522 angegeben. Diese Werte entsprechen der in dieser Untersuchung festgestellten Reliabilität des SKI bzw. Explosivkraftindex (IES, nach Zatsiorsky). Für den Approximationsgradienten und den Reaktivitätskoeffizienten (RC) können keine Werte aus der Literatur berichtet werden. Aufgrund ihrer Abhängigkeit vom Zeitwert t_{max} (vgl. Formel (2-9) und (2-10)), sind die angesprochenen Reliabilitätsprobleme nachvollziehbar.

4.1.4 Zeitdauer und Zeitmaxima

Die Variablen der Zeitdauer zwischen F_{max} und v_{max} (tF_{max}-v_{max}), P_{max} und v_{max} (tP_{max}-v_{max}) sowie P_{max} und F_{max} (tP_{max}-F_{max}) werden aufgrund der geringen absoluten Reliabilität (Brustpresse: *CV* = 27% - 76%, Beinpresse: *CV* = 22% - 84%) und geringen bis mäßigen mittleren Stabilität (ICC_r = -.021 - .650) verworfen. Die verbleibenden vier Variablen (tAntaH-F, tAntaH-v, tP_{max}-d_{max}, DOCC) laden hoch auf einen Faktor. Hiervon weist allein die Dauer der konzentrischen Phase (DOCC) durchgehend annehmbare absolute Reliabilitäten (3% - 7%) bei sehr guten bis ausgezeichneten mittleren Stabilitäten (ICC_r = .829 - .922) auf. Folglich wird die DOCC in die weitere Auswertung aufgenommen. Die DOCC findet sich in den Arbeiten von Müller (1987) und Tusker (1994), allerdings werden keine Reliabilitäten angegeben. Die weiteren Parameter sind bis dato lediglich in der Untersuchung von Cormie et al. (2008) verwendet worden. Dort wird keine Aussage zu deren Reliabilität gemacht.

Die Variablen der Zeitmaxima scheinen mit Ausnahme der t_{RFDmax} in der Brustpresse bei 80% 1 RM eine Komponente zu repräsentieren. Für die Testübung Brustpresse sind bei beiden Testlasten 3 Variablen als reliabel einzustufen: die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Leistung (t_{Pmax}: *CV* = 50% 1 RM, 5%; 80% 1 RM, 8%), der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}: *CV* = 50% 1RM, 4%; 80% 1 RM, 8%) und der maximalen Beschleunigungsentwicklung (t_{RVDmax}: *CV* = 50% 1 RM, 3%; 80% 1 RM, 6%). Die mittlere Stabilität ist hierbei ausgezeichnet (ICC_r = .919 - .929 bei 50% 1 RM) bzw. sehr gut (ICC_r = 839 - .865 bei 80% 1 RM) bei äquivalenter relativer Reliabilität. Die Faktorenanalyse zeigt, dass diese Variablen hoch auf einem Faktor laden.
Die Testübung Beinpresse zeigt lediglich für die Testlast 50% 1 RM annehmbare Variationskoeffizienten für die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Leistung (9%) und der maximalen Geschwindigkeit (8%) bei annehmbarer mittlerer Stabilität (ICC_r = .777 und .784). Für die Testlast von 80% 1 RM sind die t_{Pmax} und t_{vmax} mit einem Variationskoeffizienten von 13% und

12% bei mäßiger mittlerer Stabilität (*ICC*$_r$: .663) kritisch zu betrachten. Die Faktorenanalyse zeigt ebenfalls hohe Ladungen dieser Variablen auf einem Faktor. Alle anderen Variablen weisen unannehmbare Reliabilitäten auf. Für die weitere Auswertung wird aufgrund des geringeren Variationskoeffizienten und der höheren mittleren Stabilität und relativen Reliabilität die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}) in die weitere Auswertung aufgenommen.
Die Variablen der Zeitmaxima finden sich in Untersuchungen von Müller (1987) und Tusker (1994). Dort werden mit Ausnahme der t_{RFDmax} (r_{tt} = .62) keine weiteren Angaben zur Reliabilität gemacht. In anderen Studien werden die Variablen der Zeitmaxima verwendet, aber keine Aussagen zur Reliabilität gemacht (bspw. t_{RVDmax} in Cronin et al., 2003b).

4.1.5 Übergreifende Maximalkennziffern

Für die Testübungen Brustpresse und Beinpresse haben sich bei beiden Testlasten die Momentankraft und Momentangeschwindigkeit bei maximaler Leistung (F_{Pmax}, v_{Pmax}) als reliabel gezeigt (*CV* = 2% bis 7%, *ICC*$_r$ = .881 - .985). Beide Variablen scheinen - auf Basis der Faktorenanalyse - die gleiche Komponente zu repräsentieren. Die zusätzliche Betrachtung der mittleren Stabilität zeigt zwischen den beiden Messzeitpunkten höhere Effekte bei der v_{Pmax} (.217 - .339) im Vergleich zur F_{Pmax} (.081 - .118), d.h. die v_{Pmax} weist einen höheren Effekt und damit eine geringere Kennwertstabilität als die F_{Pmax} auf. Somit wird die F_{Pmax} für die weiteren Auswertungen verwendet. Die Momentangeschwindigkeit bei maximaler Kraft (v_{Fmax}) wird aufgrund zu geringer absoluter Reliabilität, mittlerer Stabilität und relativer Reliabilität verworfen. Reliabilitätskoeffizienten aus der Literatur liegen zu den genannten übergreifenden Maximalkennziffern nicht vor.

Die Variable **zurückgelegter Weg** (d_{max}) weist eine sehr gute absolute Reliabilität (CV: 3% - 6%) bei ausgezeichneter mittlerer Stabilität *(ICC*$_r$ = .913 - .978) auf; die Variable wird in die weiteren Auswertungen aufgenommen. Bosco et al. (1995) weisen für den mittleren zurückgelegten Weg (d_{mw}) in der Kniebeuge eine Reliabilität zwischen den Versuchen von *r* = .57 und einen *CV* von 8% aus. Zwischen unterschiedlichen Testtagen beträgt das *r* = .85 und der *CV* = 5.2%.

4.1.6 Hypothesenbesprechung Reliabilitätsbetrachtungen

Im Rahmen der Literaturbesprechung wurden 67 Variablen für die Schnellkraftoperationalisierung identifiziert, deren Überprüfung folgende Hypothese zugrunde liegt:

$H_1$13: Die Variablen zur Schnellkraftoperationalisierung sind reliabel.

Die Tabelle 4-1 gibt eine zusammenfassende Übersicht über die Variablen der Schnellkraft. Für diese Variablen ist die Hypothese $H_1$13 angenommen. Für die Schnellkraftvariablen F_{mw}, P_{mw}, iPP_{max}, v_{mw}, ivv, v_{Pmax} ist die $H_1$13 ebenfalls anzunehmen; sie werden aber aufgrund der Ergebnisse der Faktorenanalyse (vgl. Anhang III) nicht berücksichtigt.

Tabelle 4-1: Zusammenfassende Übersicht der ausgewählten Variablen zur Schnellkraftoperationalisierung (Verteilung und Reliabilität).

Testübung	Testlast % 1 RM	Variable	*n*	Verteilung		absolute Reliabilität		mittlere Stabilität		relative Reliabilität
				$p_{\chi 2}$	r_p	*MD* [%] *(KI)*	*CV* [%] *(KI)*	ICC_r *(KI)*	*d*	r_s
Beinpresse	50%	F_{max}	44	> .05	.069	-3 (-4 - -1)	4 (3 - 5)	.975 (.954 - .986)	0.100	.974
	80%	F_{max}	32	> .05	-.072	-2 (-3 - -1)	3 (2 - 4)	.977 (.952 - .989)	0.111	.977
Brustpresse	50%	F_{max}	46	> .05	.040	-1 (-2 - 0)	3 (2 - 3)	.979 (.961 - .998)	0.079	.970
	80%	F_{max}	46	> .05	-.006	-1 (-2 - -1)	2 (1 - 2)	.989 (.979 - .994)	0.081	.991
Beinpresse	50%	RFD_{max}	44	≤ .05	.491*	1 (-5 - 6)	13 (11 - 17)	.856 (.750 - .919)	0.034	.860
	80%	RFD_{max}	32	> .05	.316	1 (-6 - 7)	14 (11 -19)	.782 (.596 - .888)	0.012	.810
Brustpresse	50%	RFD_{max}	46	> .05	.236	1 (-3 - 6)	11 (9 - 14)	.866 (.796 - .924)	-0.011	.832
	80%	RFD_{max}	46	> .05	-.022	0 (-4 - 4)	10 (8 - 13)	.817 (.691 - .895)	0.041	.854
Beinpresse	50%	P_{max}	44	> .05	.009	-7 (-9 - -5)	5 (4 - 7)	.953 (.914 - .974)	0.303	.963
	80%	P_{max}	32	> .05	.-077	-9 (-12 - -6)	7 (6 - 10)	.912 (.826 - .957)	0.386	.886
Brustpresse	50%	P_{max}	46	> .05	.016	-5 (-6 - -3)	3 (3 - 4)	.974 (.954 - .986)	0.244	.960
	80%	P_{max}	46	> .05	.071	-6 (-7 - -4)	3 (2 - 3)	.981 (.966 - .990)	0.293	.971
Beinpresse	50%	RPD_{max}	44	≤ .05	.491*	-6 (-11 - 1)	16 (13 - 20)	.741 (.570 - .851)	0.209	.800
	80%	RPD_{max}	32	> .05	.316	-7 (-13 - 0)	14 (11 - 20)	.806 (.637 - .902)	0.246	.750
Brustpresse	50%	RPD_{max}	46	> .05	.174	-3 (-6 - 0)	8 (6 - 10)	.902 (.829 - .945)	0.161	.902
	80%	RPD_{max}	46	> .05	-.022	-9 (-13 - -5)	12 (10 - 15)	.865 (.767 - .923)	0.312	.860
Beinpresse	50%	v_{max}	44	> .05	-.301*	-4 (-6 - -3)	4 (3 - 5)	.947 (.905 - .971)	0,241	.954
	80%	v_{max}	32	> .05	-.402*	-7 (-10 - -4)	7 (6 - 9)	.884 (.773 - 942)	0,333	.764
Brustpresse	50%	v_{max}	46	> .05	.067	-3 (-4 - -2)	3 (3 - 4)	.920 (.860 - .955)	0.249	.887
	80%	v_{max}	46	> .05	-.062	-5 (-6 - -4)	3 (2 - 3)	.983 (.970 - .991)	0.227	.980
Beinpresse	50%	RVD_{max}	44	> .05	.248	3 (-8 - 1)	12 (10 - 15)	.690 (.495 - .819)	0.137	.694
	80%	RVD_{max}	32	> .05	.120	-7 (-12 - -2)	12 (9 - 16)	.806 (.636 - .901)	0.277	.787
Brustpresse	50%	RVD_{max}	46	> .05	.141	-2 (-5 - 0)	6 (5 - 8)	.855 (.750 - .917)	0.174	.893
	80%	RVD_{max}	46	> .05	-.016	-8 (-11 - -4)	10 (8 - 12)	.883 (.796 - .934)	0.267	.883
Beinpresse	50%	DOCC	44	≤ .05	.571**	1 (-2 - 3)	6 (5 - 7)	.829 (.706 - .904)	-0.013	.827
	80%	DOCC	32	≤ .05	.320	3 (-1 - 6)	7 (5 - 9)	.871 (.751 - .936)	-0.124	.889
Brustpresse	50%	DOCC	46	≤ .05	.078	-1 (-2 - 1)	3 (3 - 4)	.922 (.863 - .957)	0.044	.881
	80%	DOCC	46	> .05	.278	3 (1 - 6)	6 (5 - 8)	.867 (.770 - .924)	-0.198	.855
Beinpresse	50%	t_{vmax}	44	> .05	.132	1 (-3 - 4)	8 (7 - 10)	.784 (.635 - .877)	-0.075	.792
	80%	t_{vmax}	32	> .05	.209	0 (-6 - 6)	12 (10 - 17)	.663 (.409 - .822)	-0.012	.642
Brustpresse	50%	t_{vmax}	46	≤ .05	.224	0 (-2 - 2)	4 (3 - 5)	.929 (.874 - .960)	0.008	.906
	80%	t_{vmax}	46	> .05	.302*	3 (0 - 7)	8 (6 - 10)	.840 (.727 - .909)	-0.195	.824
Beinpresse	50%	F_{Pmax}	44	> .05	.163	-3 (-5 - -2)	4 (3 - 5)	.980 (.964 - .989)	0.117	.982
	80%	F_{Pmax}	32	> .05	.003	-2 (-3 - -1)	3 (2 - 4)	.976 (.950 - .988)	0.118	.983
Brustpresse	50%	F_{Pmax}	46	> .05	.058	-2 (-3 - -1)	3 (3 - 4)	.965 (.938 - .981)	0.112	.948
	80%	F_{Pmax}	46	> .05	.018	-1 (-2 - 0)	2 (2 - 2)	.985 (.973 - .992)	0.081	.990
Beinpresse	50%	d_{max}	44	> .05	.314*	-2 (-4 - 0)	6 (5 - 7)	.913 (.846 - .952)	0.091	.890
	80%	d_{max}	32	> .05	.176	-1 (-3 - 1)	4 (4 - 6)	.941 (.882 - .971)	0.065	.935
Brustpresse	50%	d_{max}	46	> .05	.104	-2 (-3 - 0)	4 (3 - 5)	.952 (.914 - .973)	0.096	.955
	80%	d_{max}	46	> .05	.164	-1 (-3 - 0)	3 (3 - 4)	.978 (.960 - .988)	0.073	.977

DOCC, Dauer der konzentrischen Phase; t_{vmax}, Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit; F_{Pmax}, Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung; d_{max}, zurückgelegter Gesamtweg; *n*, Stichprobengröße; $p_{\chi 2}$, *p*-Wert des D'Agostino Pearson Normalverteilungstests; r_p, Korrelationskoeffizient nach Pearson; *MD*, mittlere Differenz; *KI*, 95% Konfidenzintervall; *CV*, Variationskoeffizient; ICC_r, Intraclasskorrelation; *d,* Effektgröße *d*; r_s, Rangkorrelation nach Spearman; *, $p \leq .05$; **, $p \leq .01$.

Für folgende Variablen ist die $H_0$13 beizubehalten, d.h. diese Variablen zur Schnellkraftoperationalisierung sind nicht reliabel:

- Startkraft, Kraftentwicklung, Kraft:
  - $STK_{20\text{-}100}$, S_Grad, STK⅙
  - $RFD_{30\text{-}200}$, RFD_{mit}, RFD_{rel}⅙-⅔
  - $iF_{30\text{-}200}$, iFF_{max}, F_{mw}
- Leistung, Geschwindigkeit und Beschleunigung
  - $iP_{30\text{-}200}$
  - $iv_{30\text{-}200}$
  - $ia_{30\text{-}200}$, iaa_{max}, a_{mw}, RAD_{max}
- Schnellkraftvariablen nach Zatsiorsky
  - RC, A-Grad, IES
- Zeitdauer und Zeitmaxima
  - tAntaH-F, tAntaH-v
  - $t_{Fmax\text{-}vmax}$, $t_{Pmax\text{-}vmax}$, $t_{Pmax\text{-}Fmax}$, $t_{Pmax\text{-}dmax}$
  - t_{Fmax}, t_{Pmax}, t_{RFDmax}, t_{RPDmax}, t_{RVDmax}, t_{RADmax}
- Übergreifende Maximalkennziffern
  - v_{Fmax}

4.2 Auswertung der Trainingsdaten

Der folgende Abschnitt stellt die grundlegenden Trainingsdaten dar. Neben der Anzahl der absolvierten Trainingseinheiten werden die mittlere Dauer der Trainingseinheiten sowie die mittlere Satz-/Übungspause im Gruppenvergleich mittels einfaktorielle Varianzanalyse (Faktor Gruppe) und Post-hoc Tests (Bonferroni) betrachtet.

Die konkrete Überprüfung der Trainingsvorgaben erfolgt anhand der Datenaufzeichnungen einer einzelnen Trainingseinheit für die Übungen Beinpresse und Brustpresse. Auf Basis der Belastungsvorgaben (vgl. Tabelle 3-3, Kapitel 3.1) wird die tatsächliche Belastungskonfiguration der Gruppen ermittelt und verglichen. Der Fokus der Betrachtung liegt entsprechend dem Thema der vorliegenden Arbeit auf der unterschiedlichen Bewegungsausführung in den einzelnen Gruppen. Hierzu wird die Spannungsdauer der konzentrischen, exzentrischen und isometrischen Bewegungsphasen der einzelnen Wiederholungen mittels Messwiederholung betrachtet. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Gruppen herzustellen, werden in den beiden Mehrsatztrainingsgruppen die einzelnen Wiederholungen der drei Trainingssätze aufsummiert und mit der Spannungsdauer der EST verglichen (vgl. Kapitel 3.7, Formel (3-35) und Formel (3-36)).

Der Vergleich der Variablen der muskulären Leistung im Rahmen der Überprüfung der Trainingsvorgaben beschränkt sich auf die maximale und integrierte Leistung der konzentrischen Phase (kP_{max}, kiP), da diese Variablen sowohl Kraft- als auch Geschwindigkeitsaspekte vereinen. Die Vergleichbarkeit der Trainingsgruppen wurde durch Mittelwertbildung der Leistungsvariablen für die einzelnen Wiederholungen der jeweiligen Trainingssätze hergestellt. Für die Betrachtung weitergehender Variablen sowie anderer Bewegungsphasen sei auf Schmidt (2008) verwiesen.

Abschließend wird die Veränderung des Trainingsvolumens über den gesamten Untersuchungszeitraum dargestellt und verglichen. Innerhalb der einzelnen Gruppen wird die Veränderung über die Trainingseinheiten mittel Messwiederholung betrachtet, Gruppenvergleiche erfolgen mit einfaktorieller Varianzanalyse (Faktor Gruppe) und Post-hoc Tests (Bonferroni). Weiterführende Tabellen finden sich im Anhang IV.

4.2.1 Grundlegende Trainingsdaten

Abbildung 4-1 zeigt die Anzahl der absolvierten Trainingseinheit innerhalb der einzelnen Gruppen. In allen drei Gruppen haben die Hälfte bzw. mehr als die Hälfte der Probanden alle 12 Trainingseinheiten durchgeführt. Insgesamt nahmen alle Probanden der Trainingsgruppen mehr als 80% der geplanten Trainingseinheiten wahr und können somit in die Auswertung eingeschlossen werden.

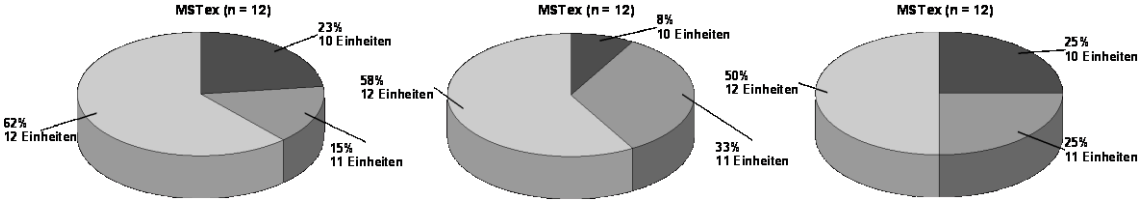

Abbildung 4-1: Anzahl der absolvierten Trainingseinheiten pro Gruppe.

In Tabelle 4-2 ist die mittlere Dauer der Trainingseinheiten im Gruppenvergleich dargestellt. Beide MST-Belastungsprotokolle weisen eine längere mittlere Trainingsdauer als das EST-Belastungsprotokoll auf. Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigt einen bedeutenden Effekt des Zwischensubjektfaktors Gruppe $F(2, 31) = 23.373$, $p = .000$). Die Post-hoc Gruppenvergleiche nach Bonferroni offenbaren eine signifikant längere mittlere Trainingsdauer der MST (23.38 min., *KI*: 13.01 min. - 33.76 min., $p = .000$) und MSTex (24.13 min., *KI*: 14.01 min. - 34.26 min., $p = .000$) gegenüber der EST. Diese Ergebnisse sind aufgrund der geringeren Satzzahl in der EST zu erwarten gewesen.

Tabelle 4-2: Mittlere Dauer der Trainingseinheiten im Gruppenvergleich.

Gruppe	*n*	*M ± SD* (min.)	*KI* (min.)
EST	11	45.15 ± 7.24	40.29 - 50.01
MST	10	68.53 ± 10.52	61.01 - 76.06
MSTex	11	69.29 ± 10.06	62.52 - 76.05

n, Stichprobengröße; *M*, Mittelwert, *SD*, Standardabweichung; *KI*, 95% Konfidenzintervall.

Neben der Trainingsdauer ist vor allem die Überprüfung der Satz- und Übungspausen von Interesse. Die Berechnung der mittleren Satz-/Übungspause erfolgt auf Basis einer 80-sekündigen Spannungsdauer im EST-Belastungsprotokoll und einer angenommenen 50-sekündigen Spannungsdauer in beiden MST-Belastungsprotokollen. Wie Tabelle 4-3 zeigt, offenbaren die MST-Belastungsprotokolle kürzere Satz- bzw. Übungspausen als das EST-Belastungsprotokoll.

Tabelle 4-3: Mittlere Satz- bzw. Übungspause im Gruppenvergleich.

Gruppe	*n*	*M ± SD* (min.)	*KI* (min.)
EST	11	3.68 ± 0.80	3.14 - 4.22
MST	10	2.26 ± 0.39	1.98 - 2.54
MSTex	11	2.29 ± 0.37	2.04 - 2.54

n, Stichprobengröße; *M*, Mittelwert, *SD*, Standardabweichung; *KI*, 95% Konfidenzintervall.

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigt einen bedeutenden Effekt des Zwischensubjektfaktors Gruppe $F(2, 31) = 22.531$, $p = .000$). Die Post-hoc Gruppenvergleiche nach Bonferroni weisen eine signifikant kürzere Satz- bzw. Übungspause der MST (1.42 min., *KI*: 2.05 min. - 0.80 min., $p = .000$) und MSTex (1.40 min., *KI*: 2.01 min. - 0.78 min., $p = .000$) gegenüber der EST nach. Betrachtet man diese Ergebnisse unter Berücksichtigung der Belastungsvorgaben in Tabelle 3-3, so ist festzustellen, dass die Probanden des EST-Belastungsprotokolls ihre Belastungsvorgabe von 2-3 min. Übungspause nicht einhalten konnten. Der Grund hierfür liegt in der hohen Ausbelastung bis zum Punkt des momentanen Muskelversagens bei langsamer Bewegungsausführung (Javorek, 1998).

4.2.2 Beinpresse

Die einfaktorielle Varianzanalyse weist mit Ausnahme der Wiederholungen pro Satz, $F(2, 26) = 1.655$, $p = .212$, und isometrische $\text{Arbeit}_{\text{Spannungsdauer}}$, $F(2, 26) = 0.916$, $p = .414$, signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen, $F(2, 26) \geq 5.722$, $p \leq .009$, auf. Im Vergleich zur Übung Brustpresse ist es bei der Beinpresse gelungen, die Belastungsvorgaben bzgl. der Wiederholungszahlen in der EST einzuhalten. Als Ursache hierfür könnten die bereits in der Diskussion der Brustpresse erwähnten Unterschiede der Muskelfaserzusammensetzung ausschlaggebend sein. Die höhere Kraftausdauerleistungsfähigkeit der Unterkörpermuskulatur durch a) die alltägliche Belastung (Stehen, Gehen) der unteren Extremitäten (Paulsen, Myklestad, & Raastad, 2003) und b) die daraus resultierende ausdauerorientierte Muskelfaserzusammensetzung der

unteren Extremitäten (Bottinelli & Reggiani, 2000) begünstigen die Einhaltung der Bewegungsvorgaben in der EST trotz der erhöhten metabolischen Beanspruchung in Richtung Kraftausdauer. Darüber hinaus sind geräteseitige Unterschiede zwischen der Bein- und Brustpresse zu berücksichtigen. Die Anordnung der Umlenkrollen und Hebel sorgt bei der hier verwendeten Brustpresse für einen deutlicher spürbaren „sticking point“[11] im Vergleich zur Beinpresse. Weiterhin wurde die Bewegung in der Beinpresse durch die Sitzeinstellung bereits so gewählt, dass der `sticking point´ nicht eintreten konnte. Für die Brustpresse war dies konstruktionsbedingt nicht möglich. Tabelle 4-4 zeigt die tatsächliche Belastungskonfiguration der drei Trainingsgruppen im Vergleich.

Tabelle 4-4: Tatsächliche Belastungskonfiguration der Trainingsgruppen für die Übung Beinpresse.

Parameter	Phase	EST (*n* = 10)	MST (*n* = 10)	MSTex (*n* = 7)
Spannungshöhe (% 1 RM Pre-Test)		68.18 ± 15.60[a,b]	83.72 ± 15.55	91.01 ± 11.24
Wiederholungen pro Satz		8.70 ± 0.68	8.97 ± 0.85	9.33 ± 0.47
Anzahl Sätze		1	3	3
Volumen (Sätze · Wiederholungen)		8.70 ± 0.68*	26.90 ± 2.56	28.00 ± 1.41
Arbeit ((Spannungshöhe · Volumen)/100) [1)]		5.98 ± 1.50*	22.68 ± 5.54	25.49 ± 3.53
Verteilung der Kontraktionsarten: Spannungsdauer pro Wiederholung	iso. AP (sec.)	0.50 ± 0.28[#]	0.03 ± 0.06	0.00 ± 0.00
	konz. (sec.)	4.28 ± 0.32[#]	0.93 ± 0.26	0.81 ± 0.17
	iso. EP (sec.)	0.36 ± 0.15[#]	0.04 ± 0.02	0.03 ± 0.01
	exz. (sec.)	4.77 ± 0.62[#]	1.08 ± 0.46	0.86 ± 0.25
	gesamt (sec.)	9.91 ± 0.93[#]	2.09 ± 0.75	1.71 ± 0.32
Spannungsdauer pro Trainingseinheit und Trainingseinheit	iso. (sec.)	7.11 ± 3.36[#]	1.83 ± 2.21	0.82 ± 0.35
	konz. (sec.)	37.14 ± 2.73[#]	25.13 ± 7.36	22.70 ± 4.99
	exz. (sec.)	41.51 ± 6.71[#]	29.28 ± 12.94	24.05 ± 6.73
	gesamt (sec.)	85.75 ± 10.22[#]	56.23 ± 21.27	47.57 ± 9.25
$\text{Arbeit}_{\text{Spannungsdauer}}$ (((Spannungshöhe · Volumen) /100) · Spannungsdauer) [1)]	iso.	42.03 ± 23.81	40.61 ± 49.71	21.08 ± 10.16
	konz.	222.89 ± 57.81*	570.15 ± 216.16	585.68 ± 181.55
	exz.	252.31 ± 83.85*	643.32 ± 273.10	615.83 ± 181.93
	gesamt	517.22 ± 151.66*	1254.09 ± 507.70	1222.59 ± 322.69

[1)] basierend auf Mazzetti et al. (2007); AP, Ausgangsposition; EP, Endposition; exz., exzentrisch; iso., isometrisch; konz. konzentrisch; *n*, Stichprobengröße; sec., Sekunden; [a], tendenziell ($p \leq .10$) geringere Werte im Vergleich zu MST; [b], signifikante ($p \leq .05$) geringere Werte im Vergleich zur MSTex; *, signifikant ($p \leq .05$) geringere Werte im Vergleich zu MST und MSTex; [#], signifikant ($p \leq .05$) höhere Werte im Vergleich zu MST und MSTex; [$], signifikant ($p \leq .05$) geringere Werte im Vergleich zu MST.

Die Post-hoc Tests (Bonferroni) zeigen eine tendenziell geringe Spannungshöhe in der EST im Vergleich zur MST (-15.55%, *KI*: -32.17% - 1.07%, $p = .072$) bzw. eine signifikant geringere Spannungshöhe gegenüber der MSTex (-22.83%, *KI*: -41.14% bis -4.53%, $p = .011$). Die geringere Spannungshöhe ist auf Basis der Belastungskonfiguration zu erwarten gewesen. Das Volumen (MST: -18.20, *KI*: -20.24 bis -16.17, $p = .000$; MSTex: -19.30, *KI*: -21.54 bis -17.06, $p = .000$) sowie die Arbeit (MST: -16.71, *KI*: -21.23 bis -12.18, $p = .000$; MSTex: -19.51, *KI*: -24.50 bis -14.53, $p = .000$) sind in der EST ebenfalls erwartungsgemäß signifikant geringer. Die Verteilung der Kontraktionsdauer zeigt eine durchgehend signifikant längere Spannungsdauer aller Kontraktionsphasen der EST gegenüber der MST und MSTex. Dies resultiert in einer ebenfalls signifikant höheren Gesamtspannungsdauer pro Wiederholung in der EST im Vergleich zur MST und

[11] Der so genannte „sticking point“ bezeichnet den beanspruchendsten Teil einer Bewegung. Ursache hierfür sind die ungünstigen Hebelverhältnisse im Bewegungsverlauf (Earle & Baechle, 2000).

MSTex. Die Spannungsdauer ist sowohl für die einzelnen Phasen als auch gesamt in der EST bedeutsam höher gegenüber der MST (gesamt: 29.52 sec., *KI*: 12.06 sec. - 46.98 sec., p = .000) und der MSTex (gesamt: 38.19 sec., *KI*: 18.95 sec. - 57.42 sec., p = .000). Die $\text{Arbeit}_{\text{Spannungsdauer}}$ weist mit Ausnahme der isometrischen Kontraktionsform signifikant höhere Werte in beiden Mehrsatztrainingsgruppen auf. Die fehlenden Unterschiede in der isometrischen $\text{Arbeit}_{\text{Spannungsdauer}}$ zwischen EST und MST im Vergleich zueinander und zur MSTex beruhen auf den - im Vergleich zu den Belastungsvorgaben - zu kurzen isometrischen Phasen in der EST und in der MST. Zwischen den beiden Mehrsatz-Trainingsgruppen zeigen die Post-hoc Tests für keinen der betrachteten Belastungsparameter einen bedeutsamen Unterschied.

4.2.2.1 Spannungsdauer

Die Betrachtung der einzelnen konzentrischen und exzentrischen Wiederholungen mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt einen bedeutsamen Effekt des Faktors Gruppe für die konzentrische (F(2, 21) = 540.716, p = .000, η^2_p = .981) und exzentrische (F(2, 21) = 140.762, p = .000, η^2_p = .931) Spannungsdauer der einzelnen Wiederholungen. Innerhalb der Subjekte ist ein bedeutsamer Haupteffekt für die exzentrische Spannungsdauer festzustellen (F(2.289, 39.992) = 5.249, p = .010, η^2_p = .200), d.h. diese verändert sich im Laufe des Trainingssatzes. Die unbedeutenden Interaktionseffekte für die konzentrische und exzentrische Spannungsdauer mit der Gruppe lassen auf eine gleiche Entwicklung der Spannungsdauer in den Trainingsgruppen schließen.

Die Betrachtung der paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel der einzelnen Wiederholungen offenbart für die konzentrische Phase lediglich in der EST bedeutsame längere Spannungsdauern in der Mitte des Trainingssatzes im Vergleich zu den letzten Wiederholungen. Eine Verlängerung der konzentrischen Phase wie in der Brustpresse ist für die Beinpresse nicht festzustellen. Für die exzentrische Phase zeigen sich in der EST tendenziell längere Spannungsdauern in der zweiten, fünften und letzten Wiederholung, in der MST eine tendenziell bzw. signifikant längere Spannungsdauer in der letzten Wiederholung (vgl. Abbildung 4-2).

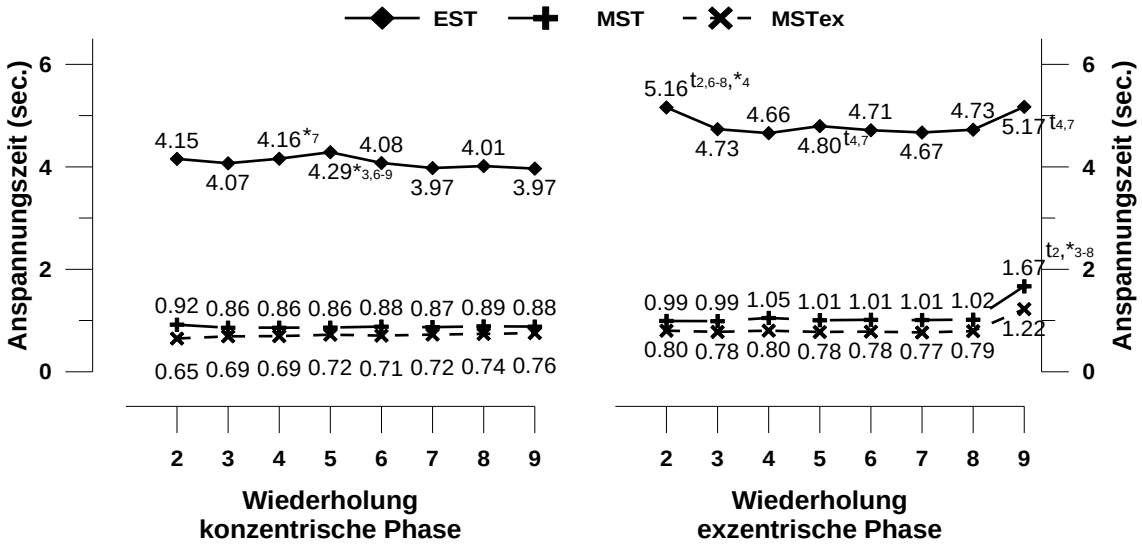

Abbildung 4-2: Spannungsdauer der einzelnen konzentrischen und exzentrischen Wiederholungsphasen der Trainingsgruppen der Übung Beinpresse (*, signifikant höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$); t, tendenziell höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .10$)). Die Spannungsdauer der EST ist sowohl gegenüber der MST und MSTex für alle Wiederholungen signifikant ($p \leq .001$) erhöht und aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt bedeutsame Effekte des Faktors Gruppe für die isometrische Spannungsdauer nach der konzentrischen (isometrische Phase 1, $F(2, 21) = 21.935$, $p = .000$, $\eta^2_p = .560$) bzw. exzentrischen Phase (isometrischen Phase 2, ($F(2, 21) = 29.153$, $p = .000$, $\eta^2_p = .735$) der einzelnen Wiederholungen. Der tendenzielle Interaktionseffekt der isometrischen Spannungsdauer nach der konzentrischen Phase mit dem Faktor Gruppe ($F(5.574, 66.716) = 2.004$, $p = .084$, $\eta^2_p = .160$) weist auf eine unterschiedliche Entwicklung der Spannungsdauer in den Trainingsgruppen hin.

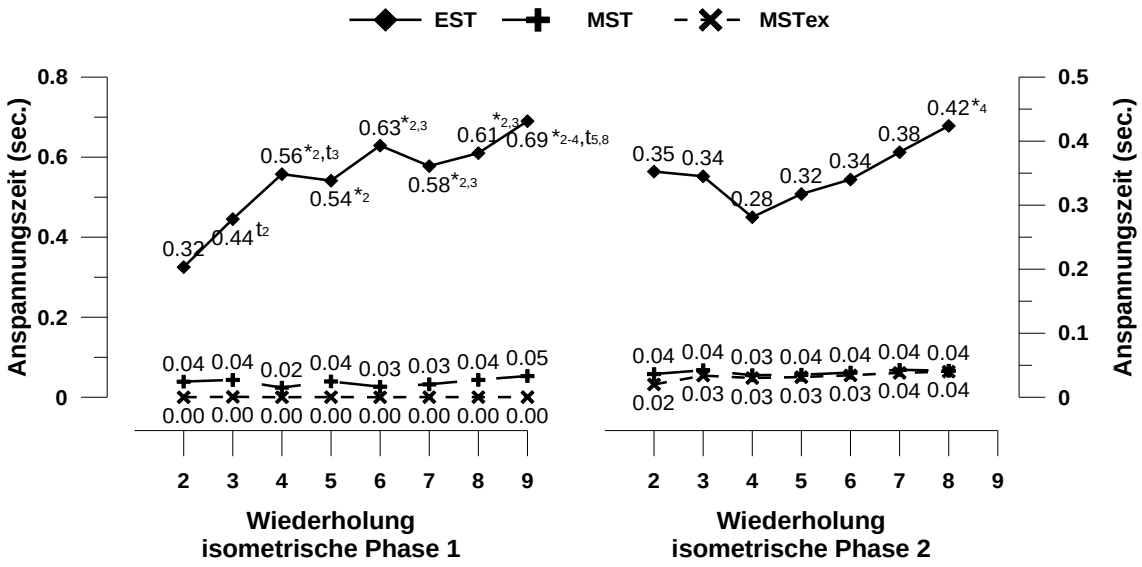

Abbildung 4-3: Spannungsdauer der einzelnen isometrischen Wiederholungsphasen der Trainingsgruppen der Übung Beinpresse (*, signifikant höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$); t, tendenziell höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .10$)). Die isometrische Spannungsdauer der Phasen 1 und 2 der EST ist sowohl gegenüber der MST und MSTex für alle Wiederholungen signifikant ($p \leq .001$ bzw. $p \leq .05$) erhöht und aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Die EST zeigt mit zunehmender Wiederholungszahl eine tendenzielle bzw. signifikant längere Spannungsdauer der isometrischen Phase 1, vor allem gegenüber der zweiten und dritten Wiederholung. Für die isometrische Phase 2 ist lediglich eine bedeutsame Verlängerung der Spannungsdauer der neunten Wiederholung gegenüber der vierten Wiederholung festzustellen.

Innerhalb der MST und MSTex sind keine bedeutsamen Veränderungen der isometrischen Phasen im Satzverlauf festzustellen (vgl. Abbildung 4-3). Es bleibt - ebenso wie bei der Übung Brustpresse - festzustellen, dass die Belastungsvorgabe einer 0.5-sekündigen isometrischen Phase am Ende der konzentrischen und exzentrischen Phase in der MST nicht umgesetzt werden konnte. Den Probanden in der MSTex ist gelungen, die Dauer der isometrischen Phasen zu minimieren.

4.2.2.2 Leistung

Die maximale konzentrische Leistung (kP_{max}, $F(2, 21) = 65.128$, $p = .000$, $\eta^2_p = .861$) sowie integrierte konzentrische Leistung (kiP, $F(2, 22) = 4.070$, $p = .031$, $\eta^2_p = .270$) weisen in der Varianzanalyse mit Messwiederholung bedeutende Effekte des Zwischensubjektfaktors Gruppe auf. Die geschätzten Randmittel zeigen signifikante Unterschiede der kP_{max} zwischen allen Gruppen (Abbildung 4-4):

- MSTex > EST: 1286.59 W, *KI*: 1051.98 W - 1521.20 W, p = .000,
- MSTex > MST: 726.81 W, *KI*: 498.36 W - 955.26 W, p = .000,
- MST > EST: 559.78 W, *KI*: 339.51 W - 780.05 W, p = .000.

Die geschätzten Randmittel der kiP offenbaren höhere Leistungswerte MSTex gegenüber der EST (117.79 W/s, *KI*: 13.92 W/s - 221.66 W/s, p = .028) und MST (126.64 W/s, *KI*: 27.74 W/s - 225.55 W/s, p = .014).

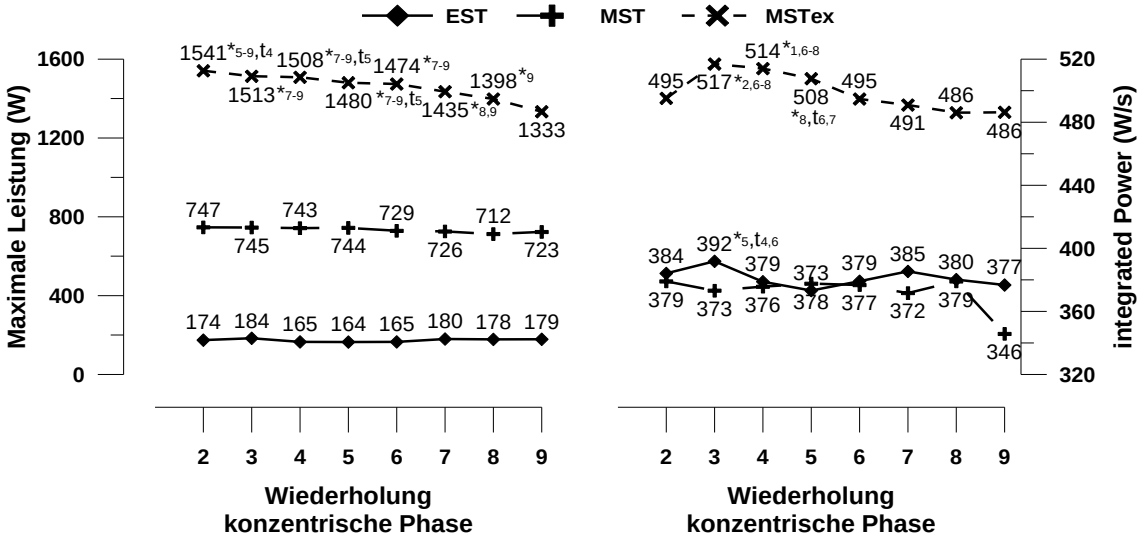

Abbildung 4-4: Leistung der konzentrischen Phase der Trainingssätze innerhalb der Gruppen für die Übung Beinpresse (*, signifikant höhere Leistung innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$); t, tendenziell höhere Leistung innerhalb der Gruppe ($p \leq .10$); #, signifikant geringere Leistung zu allen vorherigen Messzeitpunkten innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$)). Die signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt und können dem Text entnommen werden.

Der signifikante Interaktionseffekt von kP_{max} *Gruppe (F(4.696, 49.311) = 5.028, p = .002, η^2_p = .324) deutet auf eine unterschiedliche Entwicklung innerhalb der einzelnen Gruppen hin. Im Hinblick auf das Intentionalitätsproblem der Bewegungsorganisation (vgl. Kapitel 2) ist eine höhere Leistung in der MSTex als biomechanischer Indikator für die gelungene Umsetzung der intendiert-explosiven Kontraktionen anzusehen.

Diese Entwicklung zeigt sich in den paarweisen Vergleichen der geschätzten Randmittel für die Gruppe MSTex. Hier nimmt die kP_{max} mit zunehmender Wiederholungszahl ab, im Vergleich der zweiten mit der neunten Wiederholung um 207.58 W (*KI*: 287.75 W - 127.42 W, p = .000). Für die kiP zeigt sich dieser Effekt ebenfalls in der MSTex (Abbildung 4-4). Im Vergleich zur Beinpresse fällt auf, dass die MST keine Verringerung der kP_{max} zeigt.

4.2.3 Brustpresse

Tabelle 4-5 zeigt die tatsächliche Belastungskonfiguration der drei Trainingsgruppen. Die einfaktorielle Varianzanalyse weist mit Ausnahme der Spannungsdauer pro Trainingseinheit der konzentrischen Phase, F(2, 28) = 0.008, p = .992, und der isometrischen $Arbeit_{Spannungsdauer}$, F(2, 28) = 1.321, p = .283 signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen, F(2, 28) ≥ 4.107, $p \leq .027$, auf. Die Post-hoc Gruppenvergleiche nach Bonferroni zeigen für die EST eine geringere Spannungshöhe in der betrachteten Trainingseinheit im Vergleich zur MST (-9.99%, *KI*: -18.35% bis -1.65%, p = .015), die Unterschiede zur MSTex sind unbedeutend (-6.18%, *KI*: -14.78% - 2.42%, p = .233). Mit einer Verlängerung der Bewegungsdauer pro Wiederholung

geht eine Reduktion der Spannungshöhe einher (Sakamoto & Sinclair, 2006). Signifikant geringere Wiederholungszahlen pro Satz (MST: -1.83, *KI*: -2.63 bis -1.04, p = .000; MSTex: -1.69, *KI*: -2.51 bis -0.86, p = .000) sind im Vergleich der EST zur MST und MSTex festzustellen. Ein Grund für die Beobachtung könnte in der Belastungsstruktur des EST zu finden sein. Die kontinuierliche Belastung der Muskulatur über einen Zeitraum von 70 Sekunden stellt aus metabolischer Sicht die Kraftausdauer stärker in den Vordergrund. Berücksichtigt man die in diesem Zusammenhang die eher schnellkräftig orientierte Muskelfaserzusammensetzung der Oberkörpermuskulatur (Bottinelli & Reggiani, 2000), könnte dies zu den geringeren Wiederholungszahlen in der EST geführt haben. In den Mehrsatztrainingsgruppen fällt diese Ermüdungsaufstockung durch die kürzere Anspannungszeit pro Satz und die Satzpausen deutlich geringer aus. Darüber hinaus zeigt die EST gegenüber der MST und MSTex ein signifikant geringeres Volumen (MST: -19.83, KI: -21.79 bis -17.88, p = .000; MSTex: -19.39, *KI*: -21.40 bis -17.38, p = .000) und eine signifikant geringere Arbeit (MST: -15.52, *KI*: -18.06 bis -12.98, p = .000; MSTex: -14.14, *KI*: -16.76 bis -11.53, p = .000).

Tabelle 4-5: Tatsächliche Belastungskonfiguration der Trainingsgruppen für die Übung Brustpresse.

Parameter	Phase	EST (n = 12)	MST (n = 10)	MSTex (n = 9)
Spannungshöhe (% 1 RM Pre-Test)		64.38 ± 7.44$^{\$}$	74.37 ± 7.84	70.56 ± 7.75
Wiederholungen pro Satz		7.17 ± 0.72*	9.00 ± 0.67	8.85 ± 0.82
Anzahl Sätze		1	3	3
Volumen (Sätze · Wiederholungen)		7.17 ± 0.72*	27.00 ± 2.00	26.56 ± 2.46
Arbeit ((Spannungshöhe · Volumen)/100)[1]		4.61 ± 0.68*	20.13 ± 2.95	18.75 ± 2.93
Verteilung der Kontraktionsarten: Spannungsdauer pro Wiederholung	iso. AP (sec.)	0.18 ± 0.11$^{\#}$	0.02 ± 0.04	0.01 ± 0.01
	konz. (sec.)	4.47 ± 0.37$^{\#}$	1.19 ± 0.20	1.24 ± 0.55
	iso. EP (sec.)	0.13 ± 0.10$^{\#}$	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01
	exz. (sec.)	5.25 ± 0.66$^{\#}$	1.10 ± 0.25	0.92 ± 0.18
	gesamt (sec.)	10.03 ± 0.80$^{\#}$	2.32 ± 0.42	2.17 ± 0.67
Spannungsdauer pro Trainingsübung und Trainingseinheit	iso. (sec.)	2.15 ± 1.40$^{\#}$	0.86 ± 1.10	0.46 ± 0.37
	konz. (sec.)	31.88 ± 2.90	32.28 ± 5.84	32.15 ± 12.33
	exz. (sec.)	37.66 ± 6.59$^{\#}$	29.71 ± 7.38	24.27 ± 4.79
	gesamt (sec.)	71.69 ± 8.77$^{\#}$	62.84 ± 12.38	56.88 ± 14.85
$\text{Arbeit}_{\text{Spannungsdauer}}$ (((Spannungshöhe · Volumen) /100) · Spannungsdauer)[1]	iso.	9.78 ± 5.92	17.90 ± 23.03	8.46 ± 6.68
	konz.	147.11 ± 26.47*	658.35 ± 170.29	600.41 ± 224.50
	exz.	174.06 ± 40.57*	607.93 ± 198.93	457.54 ± 113.59
	gesamt	330.95 ± 63.47*	1284.18 ± 361.96	1066.41 ± 293.41

[1] basierend auf Mazzetti et al. (2007); AP, Ausgangsposition; EP, Endposition; exz., exzentrisch; iso., isometrisch; konz. konzentrisch; n, Stichprobengröße; sec., Sekunden, *, signifikant ($p \leq .05$) geringere Werte im Vergleich zu MST und MSTex; $^{\#}$, signifikant ($p \leq .05$) höhere Werte im Vergleich zu MST und MSTex; $^{\$}$, signifikant ($p \leq .05$) geringere Werte im Vergleich zu MST.

Die Spannungsdauer der Kontraktionsarten pro Wiederholung offenbart erwartungsgemäß eine signifikant längere Spannungsdauer pro Wiederholung dem EST in allen Bewegungsphasen gegenüber den MST und MSTex Belastungsprotokollen. Die resultierende Gesamtsumme der Spannungsdauer pro Trainingseinheit zeigt mit Ausnahme der konzentrischen Spannungsdauer (EST vs. MST: -0.40 sec., *KI*: -8.68 sec. - 7.88 sec., p = 1.000; EST vs. MSTex: -0.27 sec., *KI*: -8.80 sec. - 8.25 sec., p = 1.000) statistisch bedeutsame längere Spannungsdauern in der Gruppe EST im Vergleich zu MST und MSTex. Der fehlende Unterschied der konzentrischen

Spannungsdauer beruht auf der signifikant geringeren Wiederholungszahl in der EST. Dieser Unterschied ist bei der exzentrischen Spannungsdauer nicht zu erkennen, da diese mit mehr als 5 Sekunden länger als vorgegeben dauert.

Der Unterschied in der Gesamtspannungsdauer pro Trainingseinheit von EST und MST ist bei erfüllten konzentrischen Belastungsvorgaben auf die kürzeren isometrischen Phasen der MST und den deutlich längeren exzentrischen Phasen der EST zurückzuführen. Die $\text{Arbeit}_{\text{Spannungsdauer}}$ weist mit Ausnahme der isometrischen Kontraktionsform signifikant höhere Werte in beiden Mehrsatztrainingsgruppen auf. Die fehlenden Unterschiede in der isometrischen $\text{Arbeit}_{\text{Spannungsdauer}}$ zwischen EST und MST im Vergleich zueinander und zur MSTex beruhen zum einen auf den - in Vergleich zu den Belastungsvorgaben - zu kurzen isometrischen Phasen in der EST sowie MST und zum anderen auf den geringeren Wiederholungszahlen in der EST.

Zwischen der MST und MSTex sind für alle in Tabelle 4-5 aufgeführten Parameter der Belastungskonfiguration keine Unterschiede festzustellen.

4.2.3.1 Spannungsdauer

Die Betrachtung der Trainingsdaten mittels Messwiederholung unterstreicht die bereits geschilderten bedeutsamen Effekte des Faktors Gruppe für die konzentrische ($F(2, 26) = 731.744$, $p = .000$, $\eta^2_p = .966$) und exzentrische ($F(2, 26) = 976.955$, $p = .000$, $\eta^2_p = .825$) Spannungsdauer der einzelnen Wiederholungen. Innerhalb der Subjekte sind bedeutsame Haupteffekte für die konzentrische ($F(2.579, 67.062) = 6.243$, $p = .001$, $\eta^2_p = .194$) und tendenzielle Effekte für die exzentrische ($F(1.730, 44.981) = 3.262$, $p = .054$, $\eta^2_p = .111$) Spannungsdauer festzustellen: die Spannungsdauer verändert sich im Laufe des Trainingssatzes. Die unbedeutenden Interaktionseffekte für die konzentrische und exzentrische Spannungsdauer lassen auf eine gleiche Entwicklung der Spannungsdauer in den Trainingsgruppen im Verlauf der Trainingssätze schließen (vgl. Abbildung 4-5).

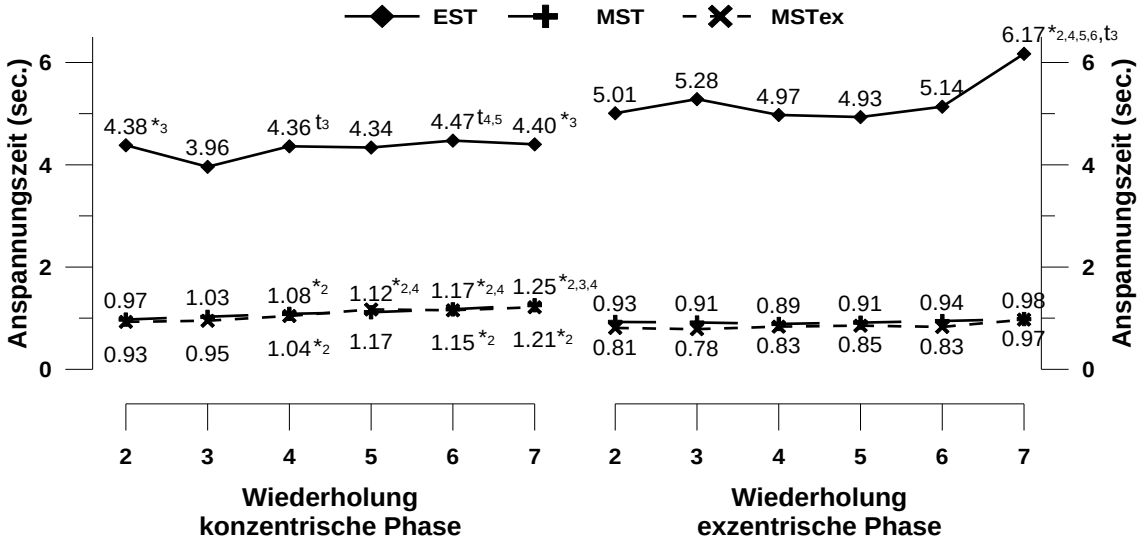

Abbildung 4-5: Spannungsdauer der einzelnen konzentrischen und exzentrischen Wiederholungsphasen der Trainingsgruppen der Übung Brustpresse (*, signifikant höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$); t, tendenziell höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .10$)). Die Spannungsdauer der EST ist sowohl gegenüber der MST und MSTex für alle Wiederholungen signifikant ($p \leq .001$) erhöht und aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Die Betrachtung der Entwicklung der konzentrischen und exzentrischen Spannungsdauer im Verlauf zeigt innerhalb der einzelnen Trainingsgruppen mittels paarweiser Vergleiche der geschätzten Randmittel für die EST, MST und MSTex signifikante Veränderungen.

In der konzentrischen Phase zeigt sich für alle drei Gruppen eine signifikante Verlängerung der Spannungsdauer am Ende des Satzes. Die Zunahme der Spannungsdauer ist auf die Ermüdungskumulation im Laufe des Trainingssatzes zurückzuführen. Die EST weist darüber hinaus eine Verlängerung der siebten Wiederholung der exzentrischen Phase im Vergleich zu den vorherigen Wiederholungen auf.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt für die isometrischen Phase 1 am Ende der konzentrischen Phase ($F(2, 26) = 20.562$, $p = .000$, $\eta^2_p = .631$) sowie die isometrische Phase 2 am Ende der exzentrischen Phase ($F(2, 20) = 5.614$, $p = .012$, $\eta^2_p = .360$) ebenfalls bedeutsame Effekte des Faktors Gruppe.

Es sind keine Innersubjekt- sowie Interaktionseffekte festzustellen, d.h. die isometrische Spannungsdauer verändert sich im Laufe des Trainingssatz nicht bedeutsam. Die Betrachtung der Entwicklung der isometrischen Spannungsdauer am Ende der konzentrischen Phase (i1DOCC) zeigt im Verlauf des Satzes mittels paarweiser Vergleiche der geschätzten Randmittel für die EST variierende Veränderungen (vgl. Abbildung 4-6).

Für die i2DOCC offenbart die EST eine signifikante Verringerung der Spannungsdauer mit zunehmender Wiederholungszahl. Die Spannungsdauer beider isometrischen Phasen der MST und MSTex tendiert gegen Null und weist unbedeutende Veränderungen auf. Es bleibt festzustellen, dass die Belastungsvorgabe einer 0.5-sekündigen isometrischen Phase in der MST nicht umgesetzt werden konnte, wohingegen die Minimierung der isometrischen Phasen in der MSTex gelungen ist.

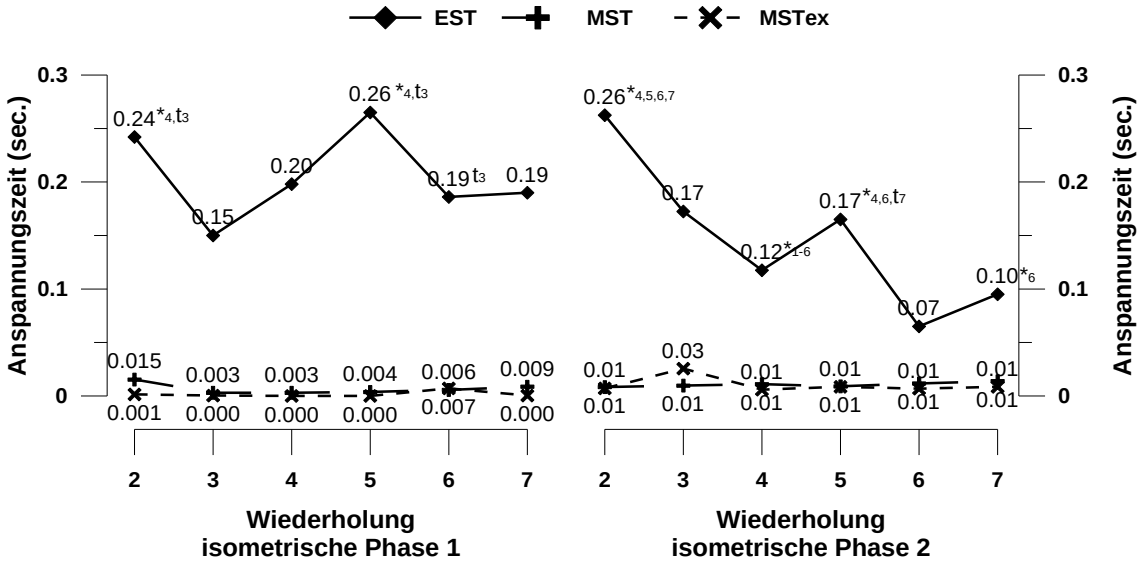

Abbildung 4-6: Spannungsdauer der einzelnen isometrischen Wiederholungsphasen der Trainingsgruppen der Übung Brustpresse (*, signifikant höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$); (t, tendenziell höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .10$)). Die isometrische Spannungsdauer der Phasen 1 und 2 der EST ist sowohl gegenüber der MST und MSTex für alle Wiederholungen signifikant ($p \leq .001$ bzw. $p \leq .05$) erhöht und aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

4.2.3.2 Leistung

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt sowohl für die konzentrische maximale Leistung (kP_{max}, $F(2, 26) = 73.700$, $p = .000$, $\eta^2_p = .850$) als auch die konzentrische integrierte Leistung (kiP, $F(2, 26) = 8.860$, $p = .001$, $\eta^2_p = .405$) signifikante Zwischensubjekteffekte, die kP_{max} und kiP der Gruppen sind folglich unterschiedlich. Die geschätzten Randmittel weisen signifikante Unterschiede der kP_{max} zwischen allen Gruppen auf:

- MSTex > EST: 485.45 W, *KI*: 401.47 W - 569.44 W, $p = .000$,
- MSTex > MST: 168.83 W, *KI*: 84.85 W - 252.82 W, $p = .000$,
- MST > EST: 316.62 W, *KI*: 234.88 W - 398.36 W, $p = .000$.

Im Hinblick auf das Intentionalitätsproblem der Bewegungsorganisation (vgl. Kapitel 2 und Kapitel 5.3.3) ist eine höhere maximale Leistung in der MSTex als biomechanischer Indikator für die gelungene Umsetzung der intendiert-explosiven Kontraktionen anzusehen. Die geschätzten Randmittel der kiP offenbaren höhere Leistungswerte in den beiden Mehrsatz-Trainingsgruppen gegenüber der EST (MST: 60.28 W/s, *KI*: 20.22 W/s - 100.34 W/s, $p = .005$; MSTex: 80.09 W/s, *KI*: 38.93 W/s - 121.25 W/s, $p = .000$).

Innerhalb der Subjekte zeigt sich ein bedeutsamer Effekt ($F(2.882, 74.932) = 38.573$, $p = .000$, $\eta^2_p = .597$) für die kP_{max}, d.h. diese unterscheidet sich zwischen den Messzeitpunkten. Der signifikante Interaktionseffekt kP_{max} *Gruppe ($F(5.764, 74.932) = 8.377$, $p = .000$, $\eta^2_p = .392$) offenbart Unterschiede in der Veränderung der kP_{max} über die Wiederholungen zwischen den Gruppen. Die Betrachtung paarweiser Vergleiche der geschätzten Randmittel zeigt für die kP_{max} in der MSTex ab der vierten Wiederholung einen signifikanten Abfall der Leistungswerte. Dieser Leistungsverlust ist in der MST weniger stark ausgeprägt und in der EST nicht festzustellen (Abbildung 4-7). Die kiP weist in allen Trainingsgruppen geringe Leistungsschwankungen auf.

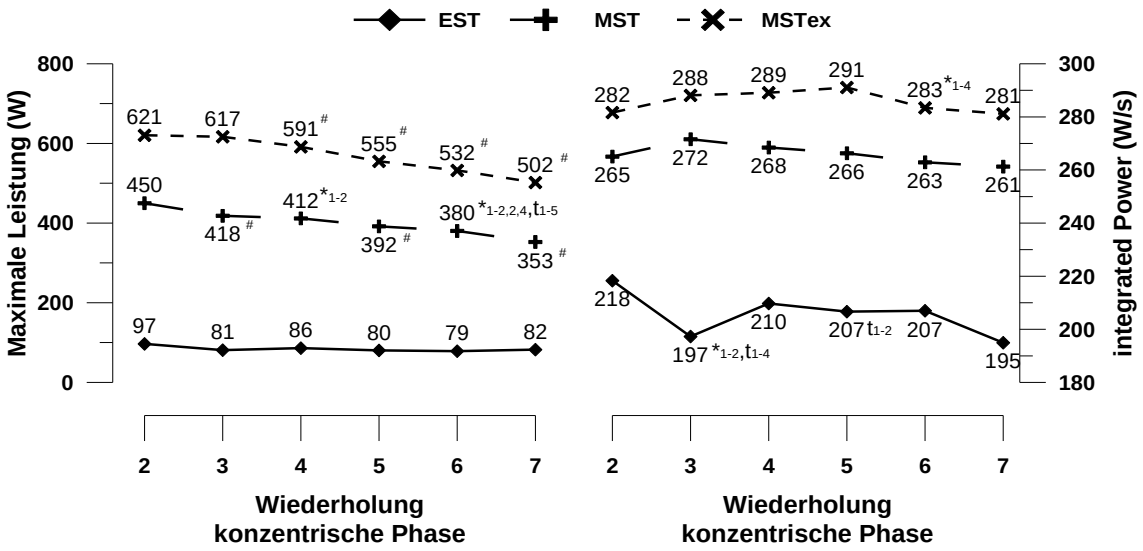

Abbildung 4-7: Leistung der konzentrischen Phase der Trainingssätze innerhalb der Gruppen für die Übung Brustpresse (*, signifikant geringere Leistung innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$); t, tendenziell geringere Leistung innerhalb der Gruppe ($p \leq .10$); #, signifikant geringere Leistung zu allen vorherigen Messzeitpunkten innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$)). Die signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt und können dem Text entnommen werden.

Die aufgezeigten Unterschiede zwischen den Belastungsprotokollen stimmen mit den Ergebnissen von Keogh, Wilson und Weatherby (1999) im Bankdrücken überein. Statistische Prüfungen innerhalb der einzelnen Belastungsprotokolle wurden dort nicht vorgenommen, es sind aber analog zu den hier vorliegenden Ergebnissen absinkende Leistungswerte im Verlauf des Satzes festzustellen.

4.2.4 Veränderung des Trainingsvolumens

Abbildung 4-8 stellt die Veränderungen des Trainingsvolumens aller Trainingsübungen über den Untersuchungszeitraum dar. In allen drei Trainingsgruppen zeigt die Messwiederholung einen signifikanten Innersubjekteffekt der Trainingseinheit:

- EST: $F(3.522, 21.130) = 12.375$, $p = .000$, $\eta^2_p = .673$),
- MST: $F(1.631, 8.156) = 8.253$, $p = .013$, $\eta^2_p = .623$),
- MSTex: $F(2.381, 14.285) = 3.854$, $p = .040$, $\eta^2_p = .391$).

Die Betrachtung der geschätzten Randmittel weist überwiegend in der EST und MST signifikant bzw. tendenzielle höhere Trainingsvolumina in der zweiten Trainingshälfte auf (Abbildung 4-8).

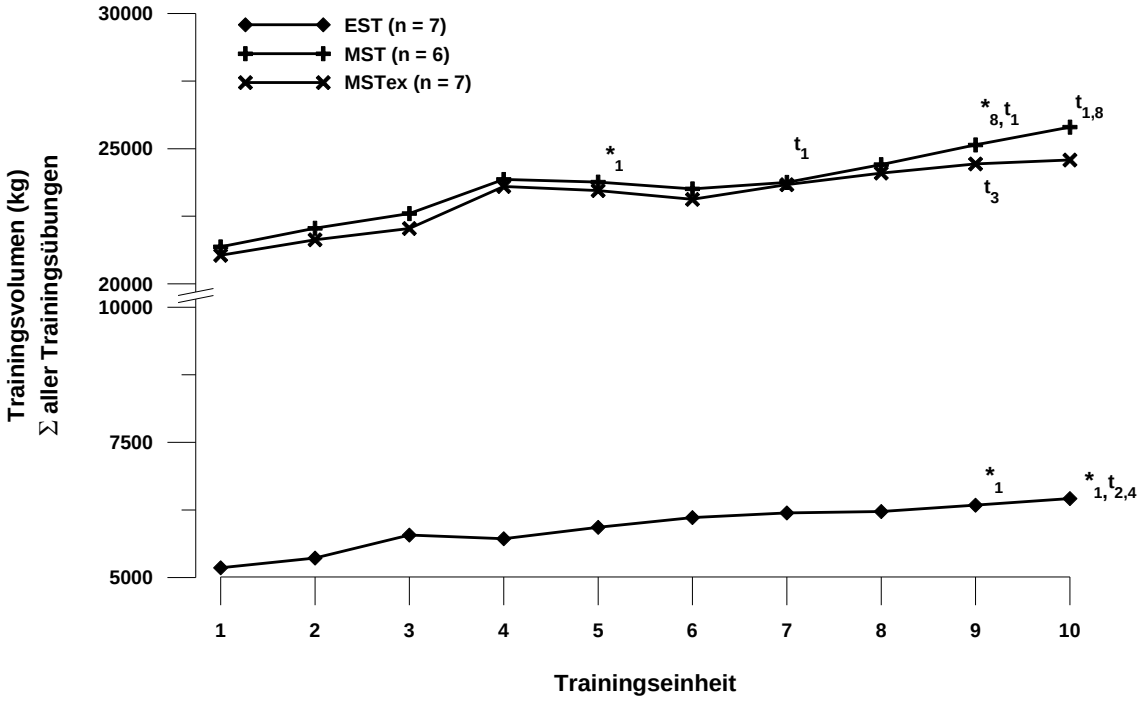

Abbildung 4-8: Veränderungen des summierten Trainingsvolumens aller Trainingsübungen der Trainingsgruppen über den Untersuchungszeitraum ($*_x$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu Trainingseinheit x; t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) zu Trainingseinheit x).

Neben der Betrachtung des Trainingsvolumens aller Trainingsübungen ist zusätzlich die separate Auswertung des summierten Trainingsvolumens der Bein- und Brustpresse über den Untersuchungszeitraum von Interesse (Abbildung 4-9).

Hier zeigen sich im EST- ($F(3.095, 34.050) = 5.482$, $p = .003$, $\eta^2_p = .333$) und MST-Belastungsprotokoll ($F(2.645, 18.531) = 3.852$, $p = .031$, $\eta^2_p = .355$) signifikante Effekte des Innersubjektfaktors Trainingseinheit, das MSTex-Belastungsprotokoll ($F(1.676, 11.731) = 1.747$, $p = .217$, $\eta^2_p = .200$) weist unbedeutende Veränderungen des summierten Trainingsvolumens auf. Wie zuvor bei den summierten Trainingsvolumina aller Trainingsübungen offenbaren sich in der

EST und MST signifikant bzw. tendenziell höhere Trainingsvolumina in der zweiten Trainingshälfte.

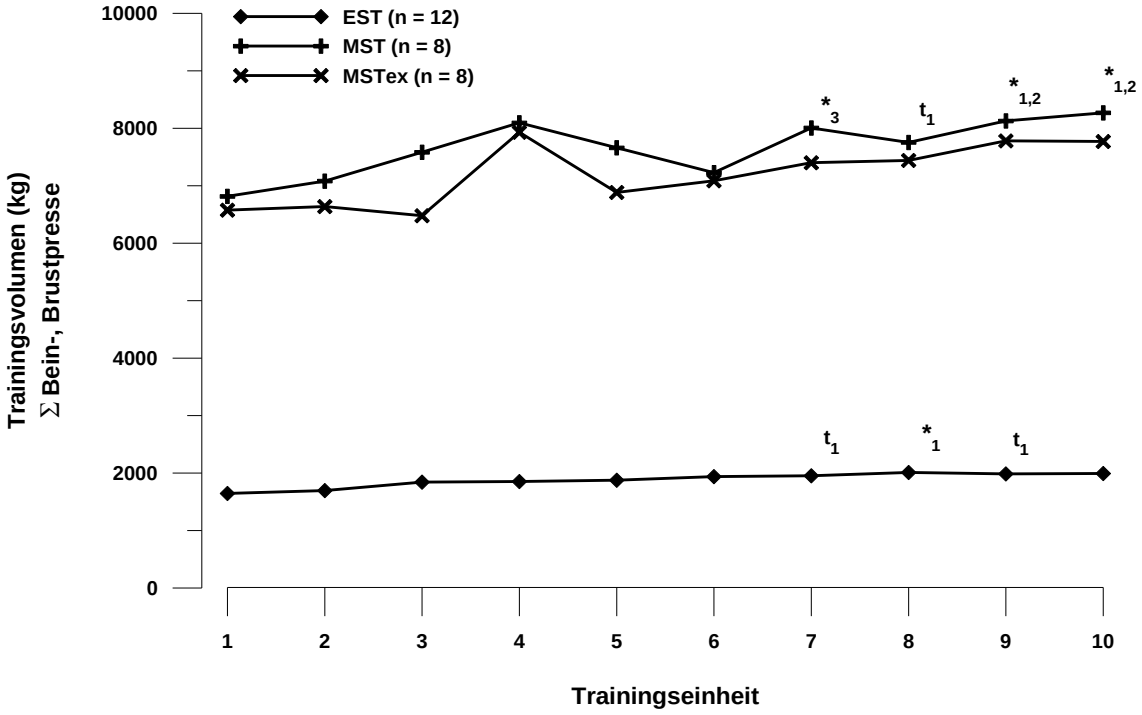

Abbildung 4-9: Veränderungen des summierten Trainingsvolumens der Bein- und Brustpresse der Trainingsgruppen über den Untersuchungszeitraum ($*_x$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu Trainingseinheit x; t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) zu Trainingseinheit x).

Eine einfaktorielle Varianzanalyse (Faktor Gruppe) zeigt von der ersten ($F(2, 33) = 402.856$, $p = .000$) bis zur zehnten Trainingseinheit ($F(2, 29) = 167.548$, $p = .000$) signifikante Unterschiede im summierten Trainingsvolumen aller Gruppen. Die Post-hoc Gruppenvergleiche nach Bonferroni weisen ein signifikant geringeres Trainingsvolumen der EST im Vergleich zur MST und MSTex auf. Zwischen beiden MST-Belastungsprotokollen besteht in keiner Trainingseinheit ein bedeutender Unterschied. Die einfaktorielle Varianzanalyse für das summierte Trainingsvolumen der Bein- und Brustpresse zeigt identische Ergebnisse, auf eine detaillierte Darstellung wird folglich verzichtet. Betrachtet man die prozentuale Zunahme des gesamten summierten Trainingsvolumens über den Untersuchungszeitraum, so weisen die Belastungsprotokolle folgende Steigerungen auf:

- EST: 21.26%, *KI*: 13.52% - 29.00%,
- MST: 16.48%, *KI*: 5.56% - 27.39%,
- MSTex: 15.74%, *KI*: 7.55% - 23.94%.

Zwischen den Gruppen zeigen sich keine Unterschiede ($F(2, 28) = 0.627$, $p = .542$). Ein identisches Bild ergibt sich im Vergleich der prozentualen Steigerungen des summierten Trainingsvolumens der Bein- und Brustpresse ($F(2, 34) = 0.660$, $p = .542$):

- EST: 22.71%, *KI*: 9.19% - 36.23%,
- MST: 13.01%, *KI*: 1.68% - 24.34%,
- MSTex: 18.51%, *KI*: 5.65% - 31.37%.

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass alle drei Trainingsgruppen eine progressive Belastungssteigerung aufweisen. Die langsamere Bewegungsausführung im EST-Belastungsprotokoll weist prozentual gesehen die höchste Progression auf, wobei dieser Unterschied statistisch unbedeutend ist. Hier könnte der ungewohnte Belastungsreiz ausschlaggebend für die höhere Progression gewesen sein.

4.2.5 Hypothesenbesprechung Trainingsvorgaben

Der Überprüfung der Trainingsvorgaben liegen zwei Hypothesen zugrunde. Die Hypothesen überprüfen anhand einer exemplarischen Trainingseinheit, ob die in Tabelle 3-3 vorgegebenen Belastungskonfigurationen der Trainingsgruppen für die einzelnen Bewegungsausführungen in den Testübungen Brustpresse und Beinpresse eingehalten werden konnten:

$H_1$10: Die Belastungskonfiguration der a) intendiert-explosiven (MSTex), b) kontrolliert-zügigen (MST) und c) langsamen (EST) Trainingsgruppe weist Unterschiede auf.

$H_1$11: Die a) maximale Leistung und b) integrierte Leistung der konzentrischen Phase nimmt im Verlauf des Trainingssatzes bei allen drei Bewegungsprotokollen (EST, MST, MSTex) ab.

$H_1$12: Die a) maximale Leistung und b) integrierte Leistung der konzentrischen Phase der a) intendiert-explosiven (MSTex), b) kontrolliert-zügigen (MST) und c) langsamen (EST) Trainingsgruppe weist Unterschiede auf.

zu $H_1$10:

Der Vergleich der Belastungskonfiguration zwischen MST und MSTex zeigt für alle Belastungsparameter keine Unterschiede. Folglich ist die $H_0$10 für diesen Vergleich beizubehalten. Ein anderes Bild ergibt sich in der Unterschiedsprüfung im Vergleich zur EST.

Wie die grundlegenden Trainingsdaten zeigen konnten, ist die Satz-/Übungspause in der EST signifikant länger, ebenso die gesamte Trainingsdauer. Folglich ist die $H_0$10 beizubehalten.

Die Überprüfung der Spannungshöhe ist die $H_1$10 für den Vergleich von EST und MST in der Übung Brustpresse und für den Vergleich von EST und MSTex in der Beinpresse angenommen. Für den Vergleich EST und MSTex in der Brustpresse sowie EST und MST in der Beinpresse ist die $H_0$10 beizubehalten.

Die Anzahl der Wiederholungen unterscheidet sich in der Beinpresse zwischen den Gruppen nicht ($H_0$10 wird beibehalten), in der Übung Brustpresse offenbart die EST geringere Wiederholungszahlen als die MST und MSTex ($H_1$10 wird angenommen).

Das Volumen und die Arbeit weisen in den beiden Mehrsatz-Trainingsgruppen für beide Trainingsgruppen höhere Werte gegenüber der EST auf; somit wird die $H_1$10 für diesen Vergleich angenommen.

Die Verteilung der Kontraktionsarten zeigt in allen 5 Belastungsparametern für beide Übungen in der MST und MSTex eine kürzere Spannungsdauer als in der EST, die $H_1$10 wird angenommen.

Die Spannungsdauer pro Trainingseinheit offenbart mit Ausnahme der konzentrischen Spannungsdauer in der Brustpresse ($H_0$10 wird beibehalten) eine längere Spannungsdauer der EST im Vergleich zu MST und MSTex. Folglich wird für diese Betrachtungen die $H_1$10 unter Berücksichtigung der genannten Ausnahme angenommen.

Für die $Arbeit_{Spannungsdauer}$ weist die EST in beiden Übungen mit Ausnahme der isometrischen $Arbeit_{Spannungsdauer}$ ($H_0$10 wird beibehalten) bedeutsam geringere Werte auf, die $H_1$10 wird angenommen.

zu $H_1$11:

Die Hypothese $H_1$11 ist für den Unterschied in der maximalen (kP_{max}) und integrierten Leistung (kiP) anzunehmen. Die kP_{max} ist sowohl in der MSTex signifikant höher im Vergleich zur MST und EST als auch in der MST gegenüber der EST. Für die kiP zeigen sich in beiden Mehrsatz-Trainingsgruppen höhere Werte als in der EST.

zu $H_1$12:

Eine Abnahme der kP_{max} im Trainingssatz zeigt sich für die MST und MSTex in Brustpresse sowie für die MSTex in der Beinpresse ($H_1$12 wird angenommen). Für die EST wird in beiden Testübungen, für die MST in der Beinpresse die $H_0$12 beibehalten.

Die kiP weist eine signifikante Abnahme in der EST für die Übung Brustpresse auf ($H_1$12 wird angenommen), die MST und MSTex zeigen dort keine Veränderungen ($H_0$12 wird beibehalten). Für die Beinpresse zeigen sich bedeutsame Abnahmen der kiP für die EST und MSTex, die $H_1$12 wird angenommen. In der MST verändert sich die kiP nicht, die $H_0$12 wird beibehalten.

4.3 Maximal- und Sprungkraft

Die Unterschiedsprüfung der Maximal- und Sprungkraftvariablen erfolgt mittels Messwiederholung (Innersubjektfaktor Messzeitpunkt 2 Stufen: Messzeitpunkt 1 und 2; Zwischensubjektfaktor Gruppe: EST, MST, MSTex, KON). A priori werden Kontraste gemäß der Hypothesen $H_1 2$ und $H_1 3$ für die Prüfung höherer Maximal- und Sprungkraftwerte der EST, MST und MSTex gegenüber der KON definiert. Die deskriptiven Tabellen sowie die weiteren statistischen Kennzahlen der Messwiederholung finden sich im Anhang V.

4.3.1 Beinpresse

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist für die isometrische und dynamische Maximalkraft der Beinpresse einen unbedeutenden Zwischensubjekteffekt ($F(3, 39) = 0.561$, $p = .644$, $\eta^2_p = .041$) für den Faktor Gruppe auf. Der Innersubjekteffekt für den Faktor Messzeitpunkt ($F(1, 39) = 31.625$, $p = .000$, $\eta^2_p = .447$) ist bedeutsam, wohingegen sich die Interaktion von Messzeitpunkt*Gruppe ($F(3, 39) = 2.073$, $p = .119$, $\eta^2_p = .138$) als unbedeutend darstellt. Abbildung 4-10 zeigt die Veränderungen der isometrischen und dynamischen Maximalkraft in der Testübung Beinpresse unter Berücksichtigung der paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel.

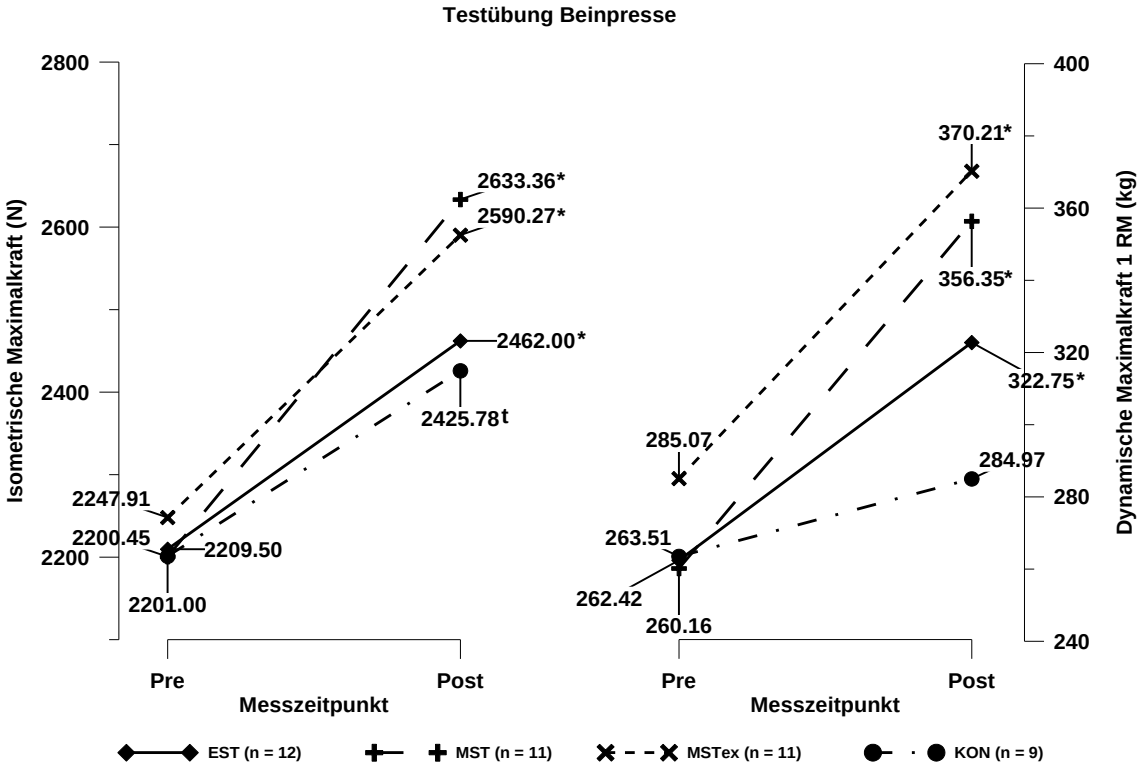

Abbildung 4-10: Isometrische und dynamische Maximalkraft der Beinpresse im Untersuchungsverlauf (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$).

Die isometrische Maximalkraft verbessert sich in den drei Trainingsgruppen bedeutsam um

- EST: 11%, 252.50 N, *KI*: 40.48 N - 464.52 N, $p = .021$,
- MST: 19%, 432.91 N, *KI*: 211.46 N - 654.36 N, $p = .000$ und
- MSTex: 15%, 342.36 N, *KI*: 120.92 N - 563.81 N, $p = .003$.

Die KON weist tendenzielle Steigerungen der isometrischen Maximalkraft von 10% (224.78 N, *KI*: -20.04 N - 469.60 N, p = .071) auf. Die Verbesserungen der dynamischen Maximalkraft offenbaren höhere prozentuale Maximalkraftsteigerungen im Vergleich zur isometrischen Testung (23% - 37% gegenüber 10% - 19%). Diese sind in allen drei Trainingsgruppen bedeutsam:

- EST: 23%, 60.33 kg, *KI*: 18.34 kg - 102.32 kg, p = .006,
- MST: 37%, 96.19 kg, *KI*: 52.34 kg - 140.05 kg, p = .000,
- MSTex: 30%, 85.14 kg, *KI*: 41.28 kg - 129.00 kg, p = .000.

Die KON zeigt einen unbedeutenden maximalen Kraftzuwachs des 1 RM von 8% (21.47 kg, *KI*: -27.02 kg - 69.95 kg, p = .376). Die a priori definierte Kontraste zeigen statistisch unbedeutend isometrische (F(1, 39) = 0.171, p = .681, η^2_p = .004) und dynamische (F(1, 39) = 0.950, p = .168, η^2_p = .024) Kraftwerte der Trainingsgruppen gegenüber der KON.

4.3.2 Beinstrecken

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist für die isometrische Maximalkraft (isoMk) in der Testübung Beinstrecken einen unbedeutenden Zwischensubjekteffekt für den Faktor Gruppe auf (F(3, 38) = 1.811, p = .162, η^2_p = .125), das 1 RM zeigt hier einen tendenziellen Effekt (F(3, 38) = 2.748, p = .056, η^2_p = .178). Der Innersubjekteffekte der isoMk und des 1 RM für den Faktor Messzeitpunkt sind bedeutsam (F(1, 38) = 9.892, p = .003, η^2_p = .207 bzw. F(1, 38) = 21.962, p = .000, η^2_p = .366), wohingegen die Interaktion von Messzeitpunkt*Gruppe auf einen tendenziellen Interaktionseffekt dieser beiden Faktoren hinweist (F(1, 38) = 2.650, p = .063, η^2_p = .173 bzw. F(1, 38) = 2.242, p = .099, η^2_p = .150).

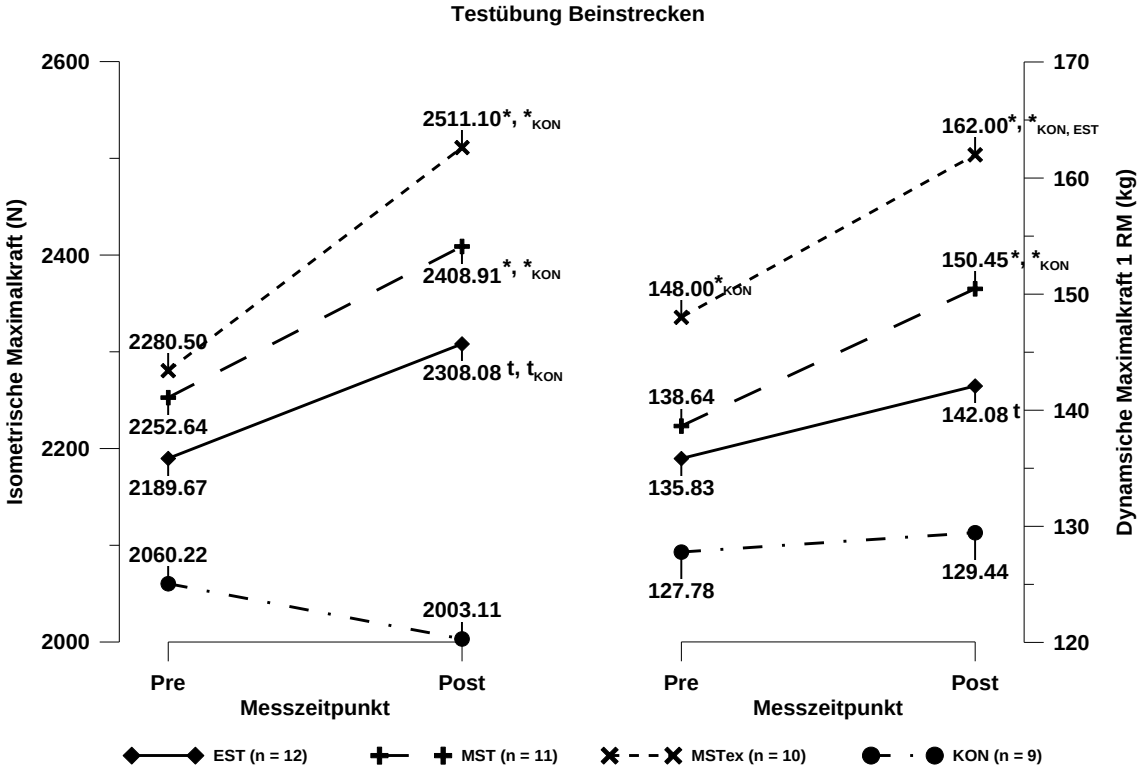

Abbildung 4-11: Isometrische und dynamische Maximalkraft des Beinstreckens im Untersuchungsverlauf (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$).

Die Betrachtung der geschätzten Randmittel zeigt für die sowohl für die isoMK als auch das 1 RM bedeutsame Verbesserungen der Maximalkraft zwischen 7% und 10%:

- MST isoMk: 156.27 N, *KI*: 16.16 N - 296.39 N, p = .030,
  1 RM: 11.82 kg, *KI*: 4.74 kg - 19.00 kg, p = .002,
- MSTex isoMk: 230.60 N, *KI*: 83.65 N - 377.55 N, p = .003,
  1 RM: 14.00 kg, *KI*: 6.58 kg - 21.42 kg, p = .000.

Die Veränderungen der EST stellen sich tendenziell dar (5%), die Kontrollgruppe verändert ihre Maximalkraft statistisch unbedeutsam (vgl. Abbildung 4-11).

Zwischen den Gruppen zeigen die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel zum ersten Messzeitpunkt eine höheres 1 RM der MSTex im Vergleich zur KON (20.22 kg, *KI*: 0.92 kg - 39.52 kg, p = .041). Zum zweiten Messzeitpunkt sind geringere isometrische Maximalkraftwerte der KON im Vergleich zur

- EST: -304.97 N, *KI*: -647.57 N - 37.63 N, p = .079,
- MST: -405.80 N, *KI*: -755.01 N bis -56.59 N, p = .024 und
- MSTex: -507.99 N, *KI*: -864.97 N bis -151.01 N, p = .006

festzustellen. Das 1 RM der KON weist ebenfalls geringere Maximalkraftwerte im Vergleich zur MST (-21.01 kg, *KI*: -40.99 kg bis -1.03 kg, p = .040) und MSTex (-32.56 kg, *KI*: -52.98 kg bis -12.13 kg, p = .003) auf. Zwischen der MSTex und EST sind zum zweiten Messzeitpunkt bedeutsam höhere dynamische Maximalkraftwerte für die MSTex festzustellen (19.92 kg, *KI*: 0.88 kg - 38.95 kg, p = .041). A priori definierte Kontraste zeigen signifikant höhere isometrische ($F(1, 39) = 4.655$, $p = .019$, $\eta^2_p = .125$) und dynamische ($F(1, 39) = 5.149$, $p = .081$, $\eta^2_p = .119$) Kraftwerte der Trainingsgruppen gegenüber der Kontrollgruppe.

4.3.3 Brustpresse

Für die Testübung Brustpresse zeigt die Varianzanalyse mit Messwiederholung für die isometrische ($F(3, 41) = 0.674$, $p = .573$, $\eta^2_p = .047$) und dynamische ($F(3, 41) = 0.654$, $p = .585$, $\eta^2_p = .046$) Maximalkraft einen unbedeutenden Effekt des Zwischensubjektfaktors Gruppe. Für den Innersubjekteffekt Messzeitpunkt ist ein signifikanter Effekt festzustellen (isoMk: $F(1, 41) = 18.587$, $p = .000$, $\eta^2_p = .312$; 1 RM: $F(1, 41) = 41{,}518$, $p = .000$, $\eta^2_p = .503$), die Interaktion von Messzeitpunkt*Gruppe ist ebenfalls bedeutsam (isoMk: $F(3, 41) = 2.851$, $p = .049$, $\eta^2_p = .173$; 1 RM: $F(3, 41) = 4.861$, $p = .006$, $\eta^2_p = .262$) und deutet auf gruppenspezifische Anpassungen über den Untersuchungszeitraum hin.

Die Betrachtung der paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel zeigt für alle drei Trainingsgruppen sowohl in der isometrischen als auch dynamischen Maximalkraft signifikante Verbesserungen der Kraftwerte (Abbildung 4-12):

- EST: 45.80 N, *KI*: 7.31 N - 84.29 N, $p \leq .05$,
  3.85 kg, *KI*: 0.05 kg - 7.65 kg, p = .021,
- MST: 75.50 N, *KI*: 35.44 N - 115.56 N, $p \leq .001$,
  11.25 kg, *KI*: 7.30 kg - 15.21 kg, p = .000,
- MSTex: 64.91 N, *KI*: 23.07 N - 106.75 N, $p \leq .01$,
  9.55 kg, *KI*: 5.42 kg - 13.68 kg, p = .003.

Die isometrische Maximalkraft der Trainingsgruppen nimmt zwischen 5% und 8% zu, wohingegen sich die isoMk der KON um 1% verringert. Bei der dynamischen Maximalkraft zeigen sich Verbesserungen des 1 RM von 4% (EST) bis 12% (MST). Die a priori definierten Kontraste zeigen unbedeutend höhere isometrische ($F(1, 41) = 0.051$, $p = .412$, $\eta^2_p = .001$) und dynamische ($F(1, 41) = 0.255$, $p = .308$, $\eta^2_p = .006$) Kraftwerte in den Trainingsgruppen gegenüber der Kontrollgruppe.

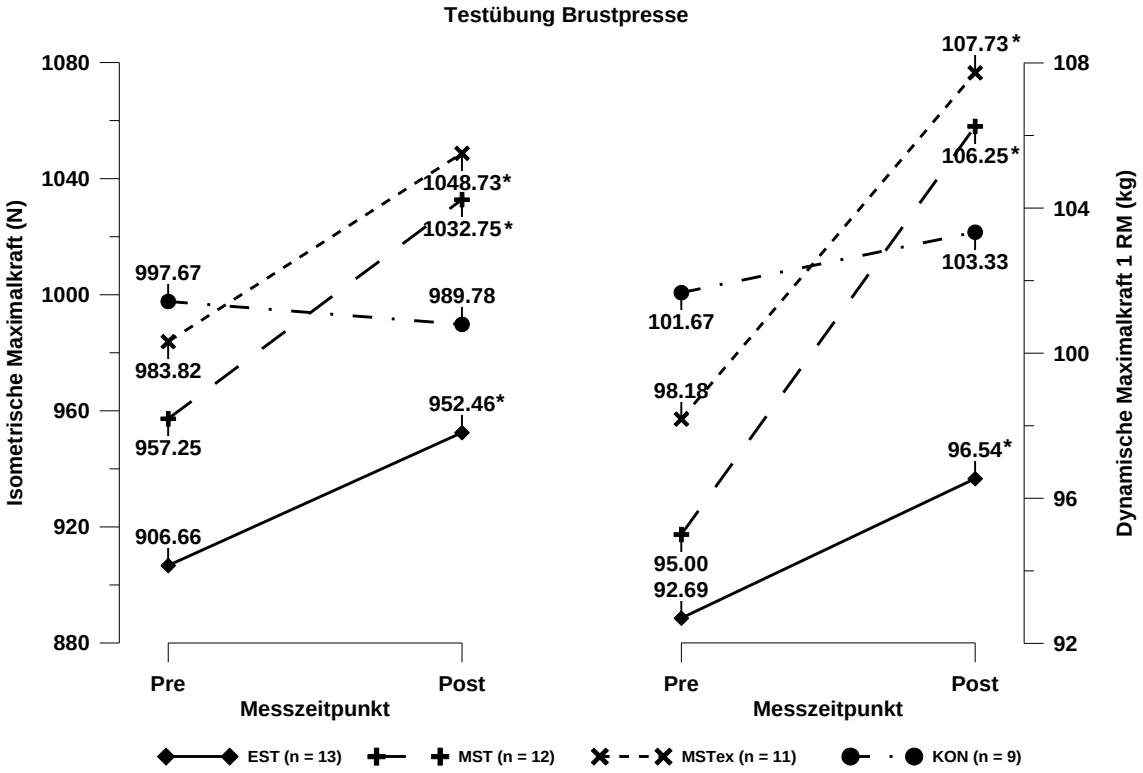

Abbildung 4-12: : Isometrische und dynamische Maximalkraft der Brustpresse im Untersuchungsverlauf (*, $p \leq .05$).

4.3.4 Bizeps Curl

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist für die Testübung Bizeps Curl unbedeutende Zwischensubjekteffekte für die isoMk ($F(3, 40) = 1.106$, $p = .358$, $\eta^2_p = .077$) und das 1 RM ($F(3, 40) = 0.470$, $p = .705$, $\eta^2_p = .034$) auf. Der signifikante Innersubjektfaktor Messzeitpunkt deutet auf eine Veränderung der isometrischen ($F(1, 40) = 56.205$, $p = .000$, $\eta^2_p = .584$) und dynamischen ($F(1, 40) = 54.344$, $p = .000$, $\eta^2_p = .576$) Maximalkraftwerte über den Untersuchungszeitraum hin. Diese scheinen sich aufgrund der unbedeutenden Interaktion von Messzeitpunkt*Gruppe zwischen den Gruppen nicht zu unterscheiden.

Die Betrachtung der paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel zeigt in allen 4 Gruppen eine bedeutsame Zunahme der isometrischen Maximalkraft von 129.36 N (*KI*: 94.48 N - 164.23 N, $p = .000$) bzw. 12% -16%. Das 1 RM verbessert sich in den 3 Trainingsgruppen mit 13% - 15% statistisch bedeutsam:

- EST: 9.62 kg, *KI*: 5.21 kg - 14.02 kg, $p = .000$,
- MST: 10.83 kg, *KI*: 6.25 kg - 15.41 kg, $p = .000$,
- MSTex: 11.50 kg, *KI*: 6.48 kg - 16.52 kg, $p = .000$.

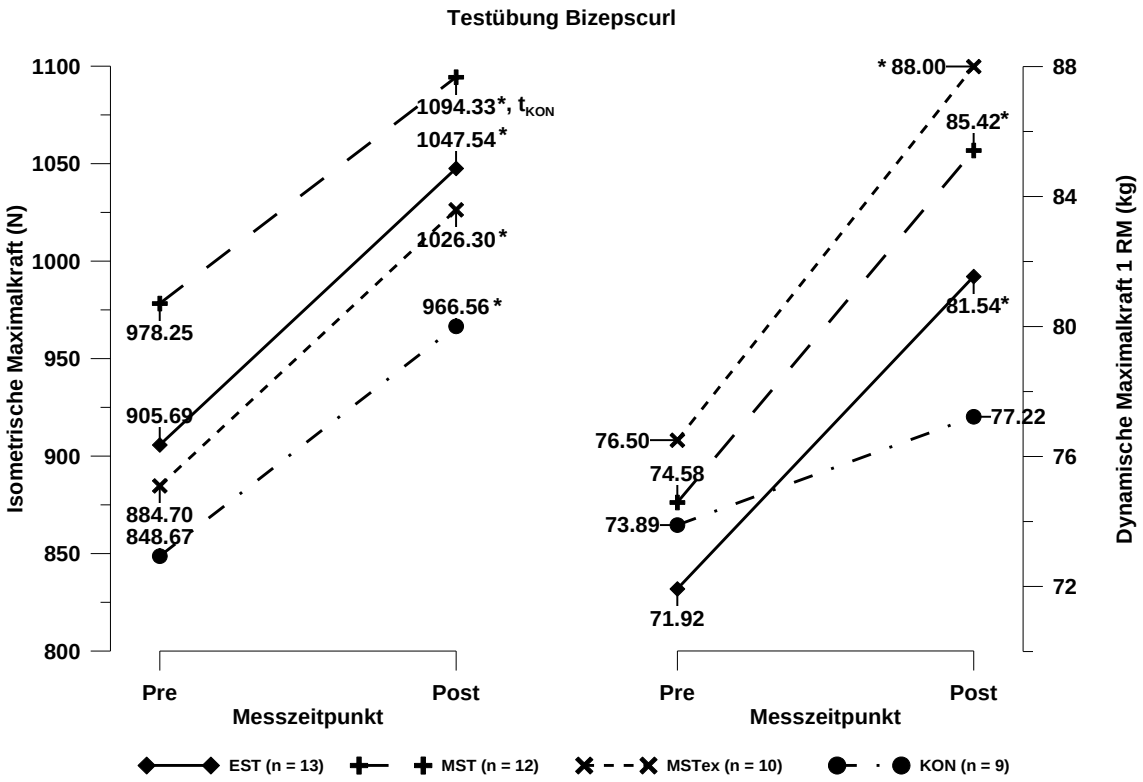

Abbildung 4-13: Isometrische und dynamische Maximalkraft des Bizeps Curl im Untersuchungsverlauf (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$).

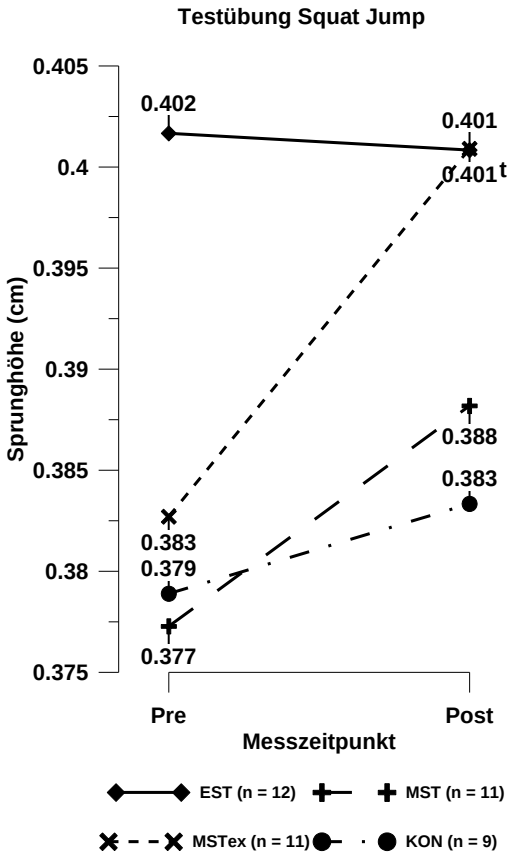

Abbildung 4-14: Sprunghöhe im Squat Jump im Untersuchungsverlauf (t, $p \leq .10$).

Die Kontrollgruppe zeigt unbedeutende Veränderungen des 1 RM. A priori definierte Kontraste zeigen tendenziell höhere isometrische ($F(1, 40) = 1.770$, $p = .096$, $\eta^2_p = .042$) und unbedeutend höhere dynamische ($F(1, 40) = 0.594$, $p = .223$, $\eta^2_p = .015$) Kraftwerte der Trainingsgruppen gegenüber der Kontrollgruppe.

4.3.5 Squat Jump

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt für den Squat Jump unbedeutende Zwischensubjekt- ($F(3, 39) = 0.388$, $p = .762$, $\eta^2_p = .029$) und Innersubjekteffekte ($F(1, 39) = 2.544$, $p = .119$, $\eta^2_p = .061$) sowie Interaktionseffekte von Messzeitpunkt*Gruppe ($F(3, 39) = 0.681$, $p = .569$, $\eta^2_p = .050$).

Die Betrachtung der paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel weist eine tendenzielle Zunahme der Sprunghöhe in der MSTex um 0.018 cm (*KI*: -0.002 cm - 0.039 cm, $p = .079$) auf, die übrigen Gruppen zeigen keine bedeutsame Veränderung der Sprunghöhe (Abbildung 4-14).

Die a priori definierte Kontrast zeigt keinen Unterschied in der Sprunghöhe ($F(1, 39) = 0.340$, $p = .282$, $\eta^2_p = .009$) der Trainingsgruppen gegenüber der Kontrollgruppe.

4.3.6 Hypothesenbesprechung und Diskussion

Die Betrachtung der dargestellten Maximalkrafttests und des Squat Jumps zeigt für alle Testübungen keine bedeutsamen Zwischensubjekteffekte. Ein tendenzieller Effekt ist für das 1 RM in der Übung Beinstrecken mit einer Varianzaufklärung von 18% gegeben.

Die a priori definierten Kontraste (EST, MST und MSTex versus KON) offenbaren für die isometrische und dynamische Maximalkraft in der Testübung Beinstrecken signifikant höhere Kraftwerte in den Trainingsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe. Signifikante Unterschiede zeigen sich ebenfalls für die isoMk im Bizeps Curl und das 1 RM Beinpresse.

Der mit Ausnahme der Testübung Squat Jump statistisch bedeutsame Innersubjekteffekt Messzeitpunkt findet seinen Ausdruck in den signifikanten Verbesserungen der geschätzten Randmittel der Trainingsgruppen. Die Kontrollgruppe zeigt hier ebenfalls Steigerungen der Kraftwerte, die aber nicht bedeutsam sind. Mit Ausnahme der Brustpresse zeigen sich keine Interaktionseffekte (vgl. Abbildung 4-12). Tabelle 4-6 fasst die Ergebnisse der Messwiederholung noch einmal zusammen.

Tabelle 4-6: Ergebniszusammenfassung der Messwiederholung aller Testübungen für die Maximal- und Sprungkraft.

Maß	Testübung	Zwischen-subjekteffekte	Innersubjekteffekte		a priori Kontraste[1)]	Geschätzte Randmittel			
		Gruppe	Mess	Mess*Gruppe		EST	MST	MSTex	KON
isoMk	Beinpresse	ns	≤ .001	ns	ns	↑ ≤ .05	↑ ≤ .001	↑ ≤ .01	↑ ≤ .10
	Beinstrecken	ns	≤ .01	ns	≤ .05	↑ ≤ .10	↑ ≤ .05	↑ ≤ .01	↓ ns
	Brustpresse	ns	≤ .001	≤ .05	ns	↑ ≤ .05	↑ ≤ .001	↑ ≤ .01	↓ ns
	Bizeps Curl	ns	≤ .001	ns	≤ .05	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001
1 RM	Beinpresse	ns	≤ .001	ns	≤ .05	↑ ≤ .01	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	↑ ≤ .10
	Beinstrecken	≤ .10	≤ .01	ns	≤ .05	↑ ≤ .10	↑ ≤ .01	↑ ≤ .001	↑ ns
	Brustpresse	ns	≤ .001	≤ .01	ns	↑ ≤ .05	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	↑ ns
	Bizeps Curl	ns	≤ .001	ns	ns	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	↑ ns
Sprunghöhe	Squat Jump	ns	ns	ns	ns	↑ ns	↑ ns	↑ ≤ .10	↑ ns

[1)], EST, MST, MSTex vs. KON; ↑, Zunahme und *p*-Wert; ↓, Abnahme und *p*-Wert; isoMk, isometrische Maximalkraft; Mess, Messzeitpunkt; ns, nicht signifikant.

Der Betrachtung der Maximal- und Sprungkraft liegen vier Hypothesen zugrunde:

$H_1$1: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt zu gleich hohen Steigerungen der isometrischen und dynamischen Maximalkraft.

$H_1$2: Im Anschluss an ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung zeigen die jeweiligen Trainingsgruppen gegenüber einer nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe höhere isometrische und dynamische Maximalkraftwerte.

$H_1$3: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt zu gleich hohen Steigerungen der Sprunghöhe.

$H_1$4: Im Anschluss an ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung zeigen die jeweiligen Trainingsgruppen gegenüber einer nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe höhere Sprunghöhen.

zu $H_1$1:

Die Veränderungen in den Testübungen zeigen mit Ausnahme des 1 RM Beinstrecken keine Gruppenunterschiede. Dort weist die MSTex eine größere Steigerung des 1 RM gegenüber der EST auf. Somit ist die $H_1$1 für die isometrische Maximalkraft aller Testübungen und für die dynamische Maximalkraft der Bein- und Brustpresse sowie des Bizeps Curl anzunehmen. Für das 1 RM Beinstrecken wird für die Unterschiedsprüfung der MSTex versus EST die $H_0$1 beibehalten, für die Vergleiche von MST vs. MSTex und MST vs. EST wird die $H_1$1 angenommen.

zu $H_1$2:

Die $H_1$2 ist für die Testübungen Beinpresse, Brustpresse und Bizeps Curl abzulehnen und die $H_0$2 wird beibehalten. Keine der drei Trainingsgruppen zeigt nach der Intervention signifikante Unterschiede zur Kontrollgruppe. In der Testübung Beinstrecken weisen die Gruppen MST und MSTex im Post-Test eine höhere isometrische und dynamische Maximalkraft als die KON auf, somit ist die $H_1$2 anzunehmen. Für die EST ist die $H_0$2 beizubehalten.

zu $H_1$3:

Es zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen, aber auch keine statistisch bedeutsamen Steigerungen der Sprunghöhe. Folglich wird die $H_0$3 beibehalten.

zu $H_1$4:

Für die Sprunghöhe im Squat Jump zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe, die $H_0$4 wird beibehalten.

Maximalkraftverbesserungen können morphologische und neuronale Ursachen haben. Kommt es nach einem Krafttraining zu größeren Zunahmen der dynamischen im Vergleich zur isometrischen Maximalkraft, so wird dies als Indikator für neuronale Adaptationen betrachtet (Folland & Williams, 2007, p. 155; Rutherford & Jones, 1986). Die vorliegenden Ergebnisse lassen sowohl signifikante isometrische als auch dynamische Maximalkraftverbesserungen erkennen, so dass auf Basis der Inferenzstatistik zu den unterschiedlichen Maximalkraftadaptationen keine Aussage abgeleitet werden kann. Im Vergleich zur MST und MSTex sind in der EST lediglich tendenzielle Maximalkraftverbesserungen festzustellen.

Mester et al. (2010) stellten im Gegensatz zu den hier vorliegenden Ergebnissen gleichwertige isometrische Maximalkraftverbesserungen der Beinstreckmuskulatur bei unterschiedlichen kinetischen und kinematischen Belastungskombinationen fest. Eine Ursache für diesen Befund kann in den unterschiedlichen Testwinkeln der isometrischen Maximalkraftmessung gesehen werden. In der vorliegenden Studie wurde in einem Kniegelenkinnenwinkel von 90° gemessen,

wohingegen Mester et al. (2010) bei einem Kniegelenkinnenwinkel von 120° testeten. Eine weitere Ursache ist in der unterschiedlichen Belastungsstruktur der dort überprüften klassischen Trainingsprogramme zu finden. Worauf die statistisch nicht bedeutsamen Unterschiede der Maximalkraftentwicklung der Beinstrecker in den drei Trainingsgruppen der vorliegenden Untersuchung beruhen, kann unter Berücksichtigung der kongruenten Veränderungen in den anderen drei Testübungen nur spekuliert werden. Möglicherweise könnte die Umsetzung der Belastungsvorgaben bei der Übung Beinstrecken im EST-Belastungsprotokoll nicht entsprechend erfolgt sein. Aufgrund fehlender Trainingsdatenauswertung für diese Übung kann dieser Ansatz nicht weiter verfolgt werden. Hier kann eine mehr oder minder gute Anpassung der Geräte- an die Muskelkraftkurve durch die Exzenterscheibe die langsame Bewegungsausführung der EST sensibler gegenüber so genannter „sticking points“ gemacht und somit geringere Maximalkraftanpassungen gegenüber MST und MSTex begünstigt haben (Folland & Morris, 2008).
Ferner deuten die signifikanten a priori Kontraste in der Übung Beinstrecken unter beiden Testbedingungen auf eine hohe Trainings- und Testspezifität dieser Übung hin. In einem üblichen sportartbegleitenden Krafttraining, welches die Kontrollgruppe weiterhin absolvierte, ist diese Übung von untergeordneter Bedeutung.

Die weitere Einordnung der Ergebnisse in die Literatur erfolgt ausgehend von Behm und Sale (1993a) sowie Young und Bilby (1993) und deren Vergleich unterschiedlicher Bewegungsausführungen im Mehrsatztraining (Tabelle 2-2). Die beiden Untersuchungen zeigen - analog zu den hier vorliegenden Daten - signifikante Maximalkraftsteigerungen in beiden Mehrsatztrainingsgruppen mit keinen Gruppenunterschieden in den Testübungen der unteren Extremitäten.
Für die oberen Extremitäten konnten Jones et al. (1999) zwischen einer explosiv-intendierten und normalen Bewegungsausführung signifikante Verbesserungen im 1 RM Bankdrücken beider Gruppen feststellen, Gruppenunterschiede offenbarten sich dabei nicht. Schlumberger und Schmidtbleicher (2000a) überprüften die Auswirkungen explosiv-isometrischer Maximalkontraktionen im Bankdrücken: die isometrische Maximalkraft wies nach 6-wöchiger Trainingsphase keine Veränderungen auf. Zwei weitere Studien (Fielding et al., 2002; Bottaro et al., 2007) stellten ebenfalls statistisch bedeutsame Zuwächse des 1 RM fest, ohne dass sich zwischen den Gruppen Unterschiede offenbarten. Somit entsprechen die hier gewonnenen Ergebnisse bezüglich einer intendiert-explosiven sowie kontrollierten Bewegungsausführung im Mehrsatz-Training der Literaturlage.

Betrachtet man Studien zu unterschiedlichen Lasten im intendiert-explosiven auxotonischen Krafttraining (Tabellen 2-5 und 2-6), so zeigt die Mehrzahl der Studien signifikant höhere Steigerungen der isometrischen und dynamischen Maximalkraft bei hohen gegenüber geringen Lasten (Almasbakk & Hoff, 1996; Harris et al., 2000, Harris et al., 2000; Jones et al., 2001; Kaneko et al., 1983). Lediglich 2 Studien weisen gleich hohe Maximalkraftzuwächse bei geringen Lasten (hier EST) auf (Moss et al., 1997; McBride et al., 2002). Somit können unterschiedliche Kombinationen von kinetischen und kinematischen Parametern zu gleichwertigen Verbesserungen der Maximalkraft zu führen (vgl. auch Mester et al., 2010).

Die Anpassungen an langsame und schnelle Bewegungsausführungen (hier: Belastungskonfiguration EST und MST) zeigen in der Literatur (Tabellen 2-10 bis 2-12) bei unterschiedlichen Satzzahlen signifikante Maximalkraftsteigerungen ohne Gruppenunterschiede bei beiden

Bewegungsausführungen (Gillies & Docherty, 1999) bzw. höhere isometrische und dynamische Maximalkraftverbesserungen bei einer schnellen Bewegungsausführung (MST) (Marx et al., 2001; Munn et al., 2005a). Hierbei ist hervorzuheben, dass die Spannungsdauer (Deskriptor x_9) der Untersuchungsgruppen von Marx et al. (2001) und Munn et al. (2005a) parallelisiert wurde, wohingegen die langsame Bewegungsausführung in der Studie von Gillies und Doherty (1999) eine höhere Spannungsdauer aufweist. Somit könnten die in dieser Studie gefundenen gleichwertigen Maximalkraftzunahmen der EST auf die im Vergleich zur MST und MSTex signifikant längere Spannungsdauer (Tabelle 4-5, Tabelle 4-4) zurückzuführen sein.

Wirtz, Buitrago, Kleinoeder und Mester (2009) konnten zeigen, dass sich die Sauerstoffaufnahme und somit der ATP-Umsatz zwischen einen Kraftausdauertraining mit signifikant längerer Spannungsdauer (hier vergleichbar mit EST) im Vergleich zu einem Hypertrophietraining (hier vergleichbar mit MST) bzw. einem Maximalkrafttraining (hier vergleichbar mit MSTex) mit höherer Spannungshöhe nicht unterscheidet. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Bowtell et al. (2003), dass unter isometrischen Bedingungen bei verschiedenen Belastungsintensitäten, aber gleichen ATP-Umsatz, keine Unterschiede in der Stimulation der Proteinsynthese auftreten, sind die gleichen Maximalkraftsteigerungen durch metabolische (sarkoplasmatische Kalziumkonzentration, Energiebedarf, intramuskuläre Sauerstoffkonzentration) Variablen und ihre Signalkaskaden (Kapitel 2.3.4, Abbildung 2-56) zu erklären.

Eine weitere Begründung für die gleichwertigen Maximalkraftverbesserungen könnte in den unterschiedlichen Belastungsabbruchkriterien (Deskriptor x_{10}, Willardson, 2007) zu finden sein: die EST trainierte bis zum Punkt des momentanen Muskelversagens (PmM), wohingegen die MST und MSTex die Belastung mit einem Wiederholungsmaximum (WM bzw. RM) beendeten. Diese beiden Faktoren könnten zu einer höheren metabolischen Belastung in der EST geführt haben, die das mehrfach geringere Volumen sowie die geringere Arbeit und $\text{Arbeit}_{\text{Spannungsdauer}}$ im Vergleich zu den Mehrsatztrainingsgruppen kompensiert haben (vgl. Kapitel 2.3.5.1). Diese These unterstützen auch die Ergebnisse von Tanimoto und Ishii (2006) sowie Tanimoto et al. (2008): die Autoren sehen die gleichförmige Kraftentfaltung und die langsame Bewegungsausführung als wesentlich für die Verbesserung der Maximalkraft an. Andere Studien, in denen die Satzzahl parallelisiert, aber die Spannungsdauer (Deskriptor x_9) und die Spannungshöhe (Deskriptor x_1) unterschiedlich waren, zeigen bei erhöhter (reduzierter) Spannungsdauer und reduzierter (erhöhter) Spannungshöhe gleichwertige Maximalkraftverbesserungen (Gillies et al., 2006; Morrissey et al., 1998; Neils et al., 2005; Palmieri, 1987; Pereira & Gomes, 2002; Pereira & Gomes, 2007). Hier scheinen unterschiedliche Ermüdungsszenarien (Toigo, 2006b) die gleichwertigen Ergebnisse zu bedingen, wobei die unterschiedlichen Rekrutierungsmuster durchaus zu differierenden Ergebnissen der Schnellkraft führen könnten (Kapitel 4.4 und 4.5).

Die Sprunghöhe, hier erfasst durch den Squat Jump, gibt Aufschluss über die Schnellkraft der unteren Extremitäten und wird als Indikator für mögliche sportartspezifische Transfereffekte der durchgeführten Krafttrainingsintervention betrachtet. Young und Bilby (1993) konnten keinen Unterschied in der Sprunghöhe zwischen einem MST und MSTex zeigen. Harris et al. (2000) finden nach einem 9-wöchigen Training mit intendiert-explosiver Bewegungsausführung gegen hohe Lasten signifikant größere Sprunghöhen im Vergleich zu einem Power- und Kombinationstraining. Unterschiedliche Bewegungsausführungen hingegen scheinen bei gleicher Satzzahl aber unterschiedlicher Spannungsdauer zu gleich hohen Verbesserungen der Sprunghöhe zu führen (Palmieri, 1987; Neils et al., 2005; Morrissey et al., 1998). Die in dieser

Untersuchung gefundene tendenzielle Verbesserung des Squat Jumps der MSTex könnte, wie bei Harris et al. (2000, p. 19) beschrieben, auf neuronale und elastische Adaptationen des Muskel-Sehnen-Komplexes durch die intendiert-explosive Bewegungsausführung zurückzuführen sein. Dass dieser Effekt bei Young und Bilby (1993) nicht eintrat, kann auf der Auswahl der Trainingsübung Kniebeuge für beide Trainingsgruppen beruhen. Beide Gruppen hatten die Gelegenheit, in der Körperposition zu trainieren, die getestet wurde (zur Bedeutung der Körperposition s. Kapitel 2.6.5.3). In der vorliegenden Untersuchung trainierte keine der drei Trainingsgruppen eine ähnliche Bewegung, so dass hier neuronale und elastische Anpassungen der intendiert-explosiven Bewegungsausführung der MSTex zu dieser tendenziellen Verbesserung der Sprunghöhe im Squat Jump geführt haben könnten. Generell ist für eine Maximierung des Transfers von Krafttrainingseffekte auf sportartspezifische Leistungen ein zusätzliches sportartspezifisches Training erforderlich (Young, 2006; Leirdal, Roeleveld, & Ettema, 2007).

Für die Einordnung der Ergebnisse in die Literatur und zur Aufdeckung unterschiedlicher Adaptationsmechanismen ist neben der Betrachtung der Inferenzstatistik die praktische Bedeutsamkeit der Effekte hilfreich. Die Abbildung 4-15 stellt die klassische Effektstärke *d* der einzelnen Maximalkrafttests sowie des Sprungkrafttests dar.

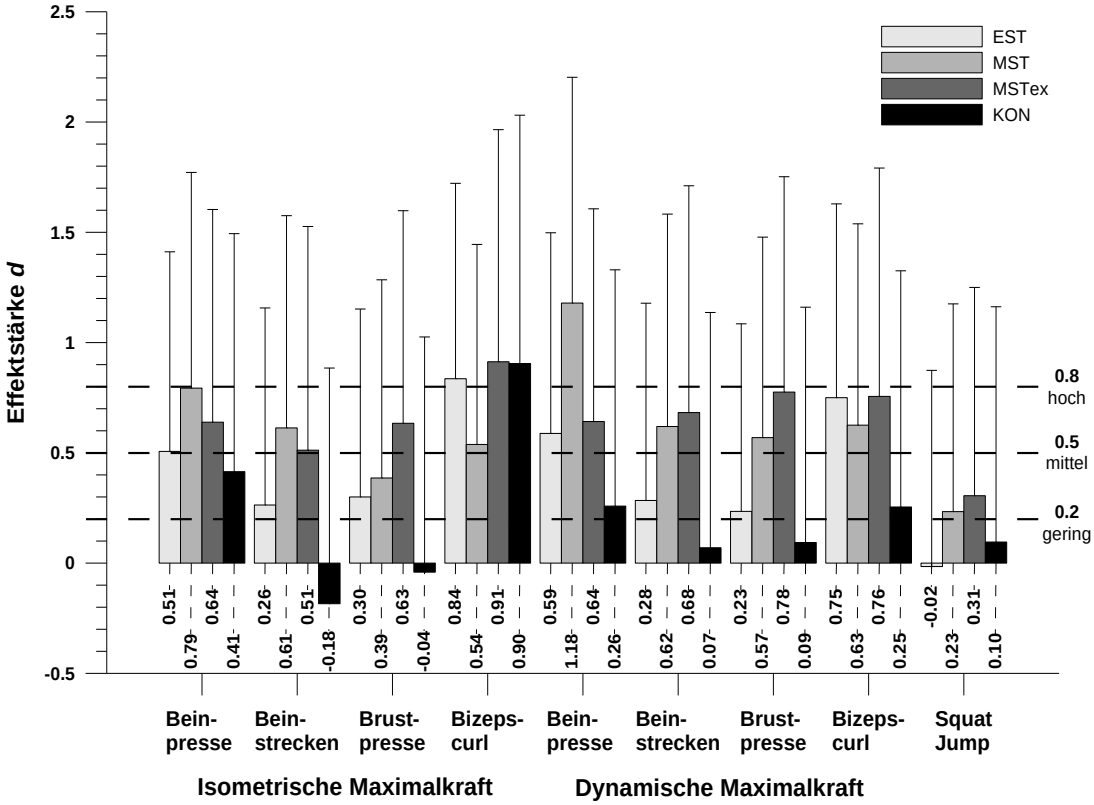

Abbildung 4-15: Klassische Effektstärke *d* der Maximalkrafttests und des Squat Jumps in den Trainingsgruppen und in der Kontrollgruppe (vertikale Balken stellen das 95% Konfidenzintervall dar, die horizontalen Linien markieren die unterschiedliche Bedeutsamkeit der Effekte).

Die Darstellung der Effektstärken lässt mit Ausnahme der isometrischen und dynamischen Maximalkraft im Bizeps Curl höhere Effekte in beiden Mehrsatztrainingsgruppen erkennen. Auffällig sind die mittleren bis hohen Effekte der isometrischen Maximalkraft der Kontrollgruppe bei den Übungen Beinpresse und Bizeps Curl. Diese statistisch bedeutsamen Verbesserungen der Kontrollgruppe können darauf zurückzuführen werden, dass die Probanden zum einen angewiesen wurden, ihre bisherigen Krafttrainingsgewohnheiten beizubehalten; eine

andere Vorgehensweise ist bei zuvor krafttrainierten Probanden nicht sinnvoll. Zum anderen wurde die Untersuchung semesterbegleitend durchgeführt, d.h. die Sportstudierenden könnten durch die sportliche Belastung im Laufe des Semesters ebenfalls Kraftzuwächse erfahren haben.

Betrachtet man die Effektstärken der isometrischen Maximalkraft und des 1 RM im Vergleich, so fallen in der EST ähnlich hohe Verbesserungen beider Testverfahren ins Auge, wohingegen beide Mehrsatz-Trainingsgruppen höhere Effekte für die dynamische Maximalkraft zeigen (zusammengefasst in Tabelle 4-8, S. 193). Dieses Ergebnis der Effektstärkenbetrachtung kann als eine größere neuronale Anpassung im Anschluss an das MST- und MSTex-Belastungsprotokoll zu interpretieren. Ursachen können sowohl das höhere Trainingsvolumen als auch die höhere Bewegungsgeschwindigkeit bei diesen Belastungsprotokollen sein. Die Beobachtung von Young und Bilby (1993), dass ein Krafttraining mit langsamer Bewegungsausführung zu höheren Verbesserungen der isometrischen Maximalkraft führt, kann hier nicht bestätigt werden.

Für die Einordnung der vorliegenden Effektstärken in die vorgestellten Primärstudien wurde eine nachträgliche Berechnung der Effektstärken vorgenommen (Tabelle 4-7). Für die Studien von Behm und Sale (1993a), Cronin et al. (2001a) Fielding et al. (2002) und Marx et al. (2001) konnten aufgrund fehlender Angaben keine Effekte berechnet werden. Die dynamische Maximalkraft des Unterkörpers wurde lediglich von Bottaro et al. (2007) in der Beinpresse erhoben. Dort zeigen sowohl die traditionell trainierende Mehrsatztrainingsgruppe sehr hohe (1.46 ± 1.21) als auch die explosiv trainierende Gruppe deutlich höhere (1.24 ± 1.03) Effekte im Vergleich zur MST und MSTex in dieser Studie. Als Grund für diese Beobachtung kommt die Probandenauswahl (inaktive Ältere) in Betracht. Mehrere Primärstudien, in denen die dynamische Maximalkraft des Unterkörpers bei mehrgelenkigen Übungen im Mehrsatztraining mit unterschiedlichen Bewegungsausführungen betrachtet wurde, nutzten die Kniebeuge als Testübung. Dort berichteten Harris et al. (2000), Jones et al. (2001), McBride et al. (2002), Tanimoto et al. (2008) und Young und Bilby (1993) sowohl für kontrolliert als auch explosiv trainierende Gruppe sehr hohe Effekte von 1.2 bis 1.73, die deutlich über den hier gefundenen liegen. Die Unterschiede zu der vorliegenden Studie könnten auf höhere koordinative Anpassungen (Technikverbesserungen) in der technisch komplexeren Testübung Kniebeuge zurückzuführen sein. Lediglich die langsam trainierende Gruppe bei Tanimoto et al. (2008) zeigte mittlere Effekte (0.68), die sich mit der EST decken (0.59). Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass das Trainingsvolumen in der Studie von Tanimoto et al. (2008) drei Mal höher war.

Die Testübung Beinstrecken wurde in den Untersuchungen von Haller (2007) sowie Tanimoto und Ishii (2006) betrachtet. Es zeigten sich geringe Effekte für das isokinetische Drehmomentmaximum (0.22 - 0.26) bis sehr hohe Effekte für das 1 RM (1.01 - 1.49), die bei einer schnelleren Bewegungsausführung höher ausfielen. Die mittleren Effekte der isometrischen Maximalkraft (0.41 - 0.51) decken sich mit den hier gefundenen Effekten. Der Squat Jump wies bei Young und Bilby (1993) geringe bis mittlere Effekte auf, die somit etwas höher ausfielen als hier beobachtet.

Für die Testübungen des Oberkörpers betrachteten Bottaro et al. (2007) die Effekte in der dynamischen Maximalkraft der Brustpresse im Mehrsatztraining mit unterschiedlichen Bewegungsausführungen. Wie zuvor bereits beim Unterkörper beschrieben, können die beobachteten, sehr hohen Effekte (1.51 - 1.66) auf die Probandenauswahl zurückgeführt werden. Tani-

moto et al. (2008) zeigten sowohl für eine langsamere (0.92) als auch normal-zügige Bewegungsausführung (1.18) höhere Effekte als die EST (0.23) und MST (0.78) der vorliegenden Untersuchung. Der große Unterschied zur EST kann durch das höhere Trainingsvolumen bei Tanimoto et al. (2008, 3 Sätze) bedingt sein. Die höheren Effekte (1.04 - 1.37) im 1 RM Bankdrücken bei Almasbakk und Hoff (1996) könnten ihre Ursachen im untrainierten Probandengut haben. Bei Jones et al. (1999) sind trotz des längeren Trainingszeitraumes im MSTex ähnlich hohe Effekte (0.66 gegenüber 0.78) festzustellen sind, wohingegen die MST in der vorliegenden Studie mehr als doppelt so hohe Effekte (0.57 gegenüber 0.27) aufweist. Für das 1 RM Bizeps Curl liegt eine vergleichende Untersuchung von Munn et al. (2005a) vor, die sowohl für das EST und das MSTex vergleichbare Effekte fanden.

Zusammengefasst lässt sich konstatieren, dass eine Einordnung der gewonnenen Ergebnisse in die Literatur schwierig ist: unterschiedliches Probandengut, Studienzeiträume sowie Trainings- und Testbedingungen erschweren die Vergleichbarkeit. Liegen vergleichbare Bedingungen vor, so konnten ähnliche Effekte berichtet werden.

Tabelle 4-7: Nachträglich berechnete Effektstärken der Maximal- und Sprungkraft der Primärstudien.

Autor	Gruppe	Unterkörper			Oberkörper		
		Testübung	*d*	*KI*	Testübung	*d*	*KI*
Almasbakk & Hoff, 1996	BPH	keine	-	-	Bankdrücken 1 RM	1.37	1.12
	ALT		-	-		1.04	1.24
Bottaro et al., 2007	Traditionell	Beinpresse 1 RM	1.46	1.21	Brustpresse 1 RM	1.51	1.22
	Power		1.24	1.03		1.66	1.10
Haller, 2007	3:1	Kniestreckung isoMk	0.51	0.74	keine	-	-
	1:3		0.41	0.76		-	-
	3:1	Kniestreckung DM_{max}	0.22	0.73		-	-
	1:3		0.26	0.75		-	-
Harris et al., 2000	HF	Kniebeuge 1 RM	1.73	1	keine	-	-
	HF	Squat Jump	50.99[1]	15.92		-	-
Jones et al., 2001	High	Kniebeuge 1 RM	1.67	1.05	keine	-	-
Jones et al., 1999	Explosiv	keine	-	-	Bankdrücken 1 RM	0.66	0.80
	Normal		-	-		0.27	0.78
McBride et al., 2002	JS80	Kniebeuge 1 RM	1.52	1.19	keine	-	-
Munn et al., 2005a	1 Satz slow	keine	-	-	Armbeugen 1 RM	0.77	0.63
	3 Sätze fast		-	-		0.91	0.64
Schlumberger & Schmidtbleicher, 2001	explosiv isometrisch	keine	-	-	Bankdrücken isoMk80	0.08	1.01
			-	-	Bankdrücken isoMk120	0.2	1.01
Tanimoto & Ishii, 2006	LST	Kniestreckung 1 RM	1.01	1.23	keine	-	-
	HN	(2 Monate Training)	1.49	1.32		-	-
Tanimoto et al., 2008	LST	Kniebeuge 1 RM	0.68	0.97	Brustpresse 1 RM	0.92	0.99
	HN	(2 Monate Training)	1.2	1.03	(2 Monate Training)	1.18	1.03
Young & Bilby, 1993	kontrolliert	Kniebeuge 1 RM	1.6	1.2	keine	-	-
	explosiv		1.42	1.31		-	-
	kontrolliert	Squat Jump	0.5	1.01		-	-
	explosiv		0.35	1.16		-	-

[1], dieser Wert beruht auf der minimalen Standardabweichung und wird nicht berücksichtigt; 1:3, 1 sec. konzentrisch, 3 sec. exzentrisch; 3:1, 3 sec. konzentrisch, 1 sec. exzentrisch; ALT, 7 RM; BPH, 80-85% 1 RM; *d*, klassische Effektstärke *d*; DM_{max}, maximales Drehmoment; HF, high force; HN, high-intensity normal; isoMk, isometrische Maximalkraft; JS80, Jump Squat 80% 1 RM; *KI,* 95% Konfidenzintervall; LST, low-intensity slow and tonic.

Neben den Primärstudien können die hier gewonnenen Ergebnisse in Metaanalysen zum Krafttraining eingeordnet werden. Hierzu werden die Effekte der einzelnen Maximalkrafttests der Trainingsgruppen zu einem Mittelwert zusammengefasst (Tabelle 4-8).

Tabelle 4-8: Mittlere Effekte der dynamischen und isometrischen Maximalkraft in den Gruppen.

Maß	EST			MST			MSTex			KON		
	M		*SD*	*M*		*SD*	*M*		*SD*	*M*		*SD*
isoMk	0.48	±	0.23	0.58	±	0.15	0.67	±	0.15	0.27	±	0.43
1 RM	0.46	±	0.21	0.75	±	0.25	0.71	±	0.05	0.17	±	0.09
Gesamt	0.47	±	0.22	0.67	±	0.22	0.69	±	0.11	0.22	±	0.31

isoMk, isometrische Maximalkraft; *M*, Mittelwert; *SD*, Standardabweichung.

Für die EST bzw. MSTex sind in den isometrischen und dynamischen Krafttests ähnlich ausgeprägte mittlere bis hohe Effektstärken festzustellen. Die MST weist höhere Effekte im 1 RM gegenüber der isoMk auf. Die Effektstärken in der Kontrollgruppe sind im Mittel unter isometrischen Bedingungen minimal höher, aber für beide Bedingungen gering.

Die hier festgestellten Effektstärken der Maximalkraft für trainierte Männer liegen für die EST im Mittel für alle Testbedingungen (0.47 ± 0.22) genau im Rahmen der bei Rhea et al. (2002) publizierten Vergleichswerten von d = 0.47. Die beiden Mehrsatztrainingsgruppen zeigen mit 0.67 ± 0.22 (MST) und 0.69 ± 0.11 (MSTex) im Mittel mittlere, aber deutlich geringere Werte als bei Rhea et al. (d = 1.0). Wolfe, LeMura und Cole (2004) veröffentlichten in einer quantitativen Analyse bei trainierten Männern Effektstärken von 0.29 für ein EST und 0.70 für ein MST. Die Effektstärken der MST decken sich mit den hier berechneten Effekten, die Effekte der EST hingegen fallen geringer aus. Eine Ursache für diese Beobachtung könnte in der Definitionsproblematik des Einsatz-Trainings zu finden sein (Preuß et al., 2006). Petersen et al. (2004) fanden sowohl für das EST (0.32 ± 0.38) als auch für das MST mit 3 Sätzen (0.36 ± 0.42) nur geringe Effekte. Fröhlich (2006) liefert in einer weiteren Meta-Analyse zum EST und MST mit Effektstärken von 0.79 ± 0.71 (EST) und 1.16 ± 0.88 (MST) deutlich höhere Effekte. Für die Sprunghöhe (Squat Jump) sowie eine intendiert-explosive Bewegungsausführung im Krafttraining mit submaximalen Lasten bis zur Erschöpfung können keine Meta-Analysen zum Vergleich herangezogen werden.

4.4 Relative muskuläre Vorspannung

Wie das Kapitel 2.4.2 zeigen konnte, spielt die muskuläre Vorspannung bei der Entwicklung der muskulären Leistung eine entscheidende Rolle. Bevor die Variablen der muskulären Leistung betrachtet werden, ist somit eine gesonderte Betrachtung der muskulären Vorspannung notwendig. Hierzu wird die anhand des 1 RM relativierte muskuläre Vorspannung (relPre) der dynamischen Testbedingungen der muskulären Leistungen betrachtet. Für die Bestimmung der dynamischen Maximalkraft (1 RM) erübrigt sich eine muskuläre Vorspannungsbestimmung, im Rahmen der isometrischen Maximalkraftmessung wird der Einfluss der muskulären Vorspannung als vernachlässigbar eingestuft (vgl. Kapitel 2.4.2). Die Test-Retest-Reliabilitätsprüfung erfolgt gemäß der in Abbildung 3-14 veranschaulichten Vorgehensweise, die Unterschiedsprüfung wird mittels der Varianzanalyse mit Messwiederholung (Innersubjektfaktor Messzeitpunkt 2 Stufen: Messzeitpunkt 1 und 2; Zwischensubjektfaktor Gruppe: EST, MST, MSTex, KON) durchgeführt. Deskriptive Tabellen sowie die weiteren statistischen Kennzahlen finden sich im Anhang VI.

4.4.1 Reliabilität der Testübungen Bein- und Brustpresse

Wie Tabelle 4-9 zeigt, weist die relative muskuläre Vorspannung der Testübung Brustpresse unannehmbare absolute Reliabilitäten bei geringer mittlerer sowie relativer Stabilität auf. Die absolute Reliabilität in der Testübung Beinpresse ist ebenfalls unannehmbar, die mittlere Stabilität mäßig und die relative Reliabilität annehmbar.

Tabelle 4-9: Reliabilität der relativen muskulären Vorspannung.

Test übung	Testlast % 1 RM	Variable	*n*	Verteilung		absolute Reliabilität		mittlere Stabilität		relative Reliabilität
				$p_{\chi 2}$	r_p	*MD* [%] (*KI*)	*CV* [%] (*KI*)	ICC_r (*KI*)	*d*	r_s
Brustpresse	50%	relPre	46	≤ .05	.028	-5 (-13 - 4)	24 (19 - 31)	.552 (.312 - .726)	0.127	.549
	80%	relPre	46	≤ .05	.228	-3 (-11 - 6)	24 (19 - 31)	.502 (.248 - .692)	-0.030	.457
Beinpresse	50%	relPre	44	> .05	.106	-6 (-18 - 7)	36 (29 - 48)	.677 (.476 - .811)	0.224	.785
	80%	relPre	32	> .05	.311	-7 (-18 - 6)	29 (23 - 41)	.676 (.429 - .829)	0.027	.748

relPre, relative muskuläre Vorspannung; *n*, Stichprobengröße; $p_{\chi 2}$, *p*-Wert des D'Agostino Pearson Normalverteilungstests; r_p, Korrelationskoeffizient nach Pearson; *MD*, mittlere Differenz; *KI,* 95% Konfidenzintervall; *CV*, Variationskoeffizient; ICC_r, Intraclasskorrelation; *d,* Effektgröße *d*; r_s, Rangkorrelation nach Spearman.

4.4.2 Unterschiedsprüfung der Testübung Beinpresse

Abbildung 4-16 zeigt die Veränderungen der relativen muskulären Vorspannung in der Testübung Beinpresse. Bei einer Testlast von 80% 1 RM zeigt sich eine Zunahme der relPre in der MST und MSTex (0.68% - 3.21%), in der EST und KON nimmt die relPre ab (-1.80% bis -2.39%). Bei 50% 1 RM verringert sich die relPre in allen Gruppen (-0.54% bis -5.64%).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt einen tendenziellen Effekt des Faktors Messzeitpunkt ($F(1, 27) = 3.302$, $p = .080$, $\eta^2_p = .109$) und einen signifikanten Interaktionseffekt von Messzeitpunkt*Testlast ($F(1, 27) = 10.933$, $p = .003$, $\eta^2_p = .288$). Während die relPre bei 80% 1 RM zwischen Messzeitpunkt 1 und 2 unverändert bleibt (0.74%, *KI*: -1.66% - 1.81%, $p = .845$), nimmt die relPre bei einer Testlast von 50% 1 RM zum zweiten Messzeitpunkt signifikant ab (3.51%, *KI*: 1.46% - 5.56%, $p = .004$).

Die Betrachtung der geschätzten Randmittel weist für eine Testlast von 80% 1 RM lediglich in der MSTex eine tendenzielle Zunahme der relPre im Vergleich zum Pre-Test

(3.21%, *KI*: -0.17% - 6.58%, *p* = .070) auf. Darüber hinaus sind tendenziell Unterschiede zur MST und MSTex bei einer Testlast 50% 1 RM zu erkennen. Bei einer Testlast von 50% 1 RM sind durchgehend abnehmende relPre vom Pre- zum Post-Test zu erkennen, wobei eine signifikant höhere relative muskuläre Vorspannung der EST und tendenzielle höhere relPre der MSTex im Pre-Test festzustellen ist. Beide Gruppen weisen zudem im Pre-Test bei 50% 1 RM eine signifikant höhere relPre als bei 80% 1 RM auf. Auffällig ist bei einer Testlast von 50% 1 RM die signifikant bzw. tendenziell geringere relPre der MST-Belastungsprotokolle zum ersten Messzeitpunkt.

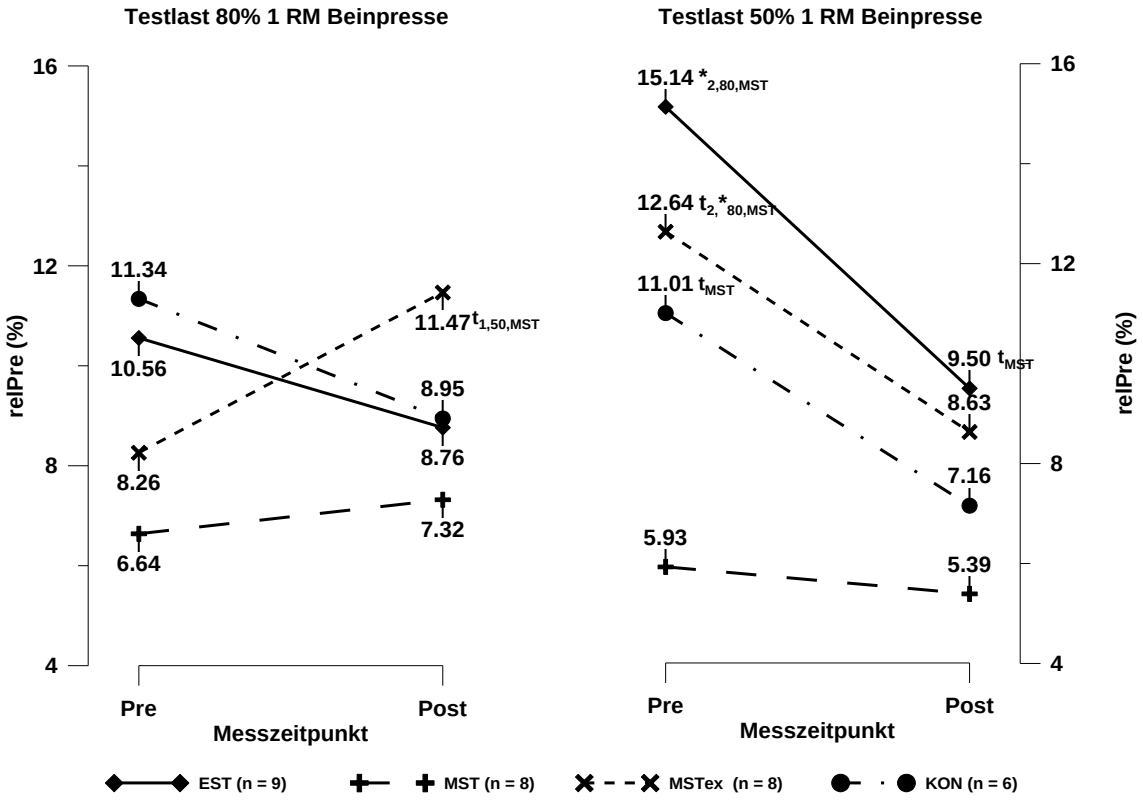

Abbildung 4-16: Veränderungen der relativen muskulären Vorspannung (relPre) für die Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_2$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Post-Test; $*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM; $*_{MST}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zur MST; $t_{1\ bzw.\ 50\ bzw.\ MST}$, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) zum Pre-Test bzw. zu 50% 1 RM bzw. zur MST).

Tabelle 4-10 zeigt die praktische Bedeutsamkeit der Veränderung der relPre vom Pre- zum Post-Test. Bei 80% sind geringe bis mittlere Effekte festzustellen, bei einer Testlast von 50% 1 RM zeigen sich mit Ausnahme der MST hohe Effekte.

Tabelle 4-10: Klassische Effektstärke *d* der muskulären Vorspannung in der Testübung Beinpresse für die Trainingsgruppen und die Kontrollgruppe.

Testlast	EST			MST			MSTex			KON		
	d		*KI*	*d*		*KI*	*d*		*KI*	*d*		*KI*
relPre 80% 1 RM	-0.32	±	1.07	0.18	±	1.16	0.68	±	1.19	-0.31	±	1.42
relPre 50% 1 RM	-0.74	±	1.11	-0.19	±	1.16	-0.77	±	1.20	-0.87	±	1.49

d, Effektgröße *d*; *KI,* 95% Konfidenzintervall.

4.4.3 Unterschiedsprüfung der Testübung Brustpresse

Abbildung 4-17 zeigt die Veränderungen der relativen muskulären Vorspannung (relPre) in der Testübung Brustpresse über den Untersuchungszeitraum.

Die relPre weist bei 80% 1 RM vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt Veränderungen von -3.56% (MSTex) bis 1.13% (EST) auf, bei 50% 1 RM liegen diese Veränderungen zwischen -2.76% (MSTex) und 0.53% (KON). Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt für den Zwischensubjektfaktor und die Innersubjektfaktoren durchgehend unbedeutende Effekte.

Betrachtet man die praktische Bedeutsamkeit der Veränderung der relativen muskulären Vorspannung in der Brustpresse, so zeigen sich triviale (MST) bis mittlere Effekte (MSTex und EST 50% 1 RM, Tabelle 4-11).

Tabelle 4-11: Klassische Effektstärke *d* der muskulären Vorspannung in der Testübung Brustpresse für die Trainingsgruppen und die Kontrollgruppe.

Testlast	EST			MST			MSTex			KON		
	d		*KI*	*d*		*KI*	*d*		*KI*	*d*		*KI*
relPre 80% 1 RM	0.27	±	0.85	-0.01	±	0.89	-0.47	±	0.95	-0.19	±	1,07
relPre 50% 1 RM	-0.41	±	0.86	0.01	±	0.89	-0.46	±	0.95	0.12	±	1,07

d, Effektgröße *d*; *KI,* 95% Konfidenzintervall.

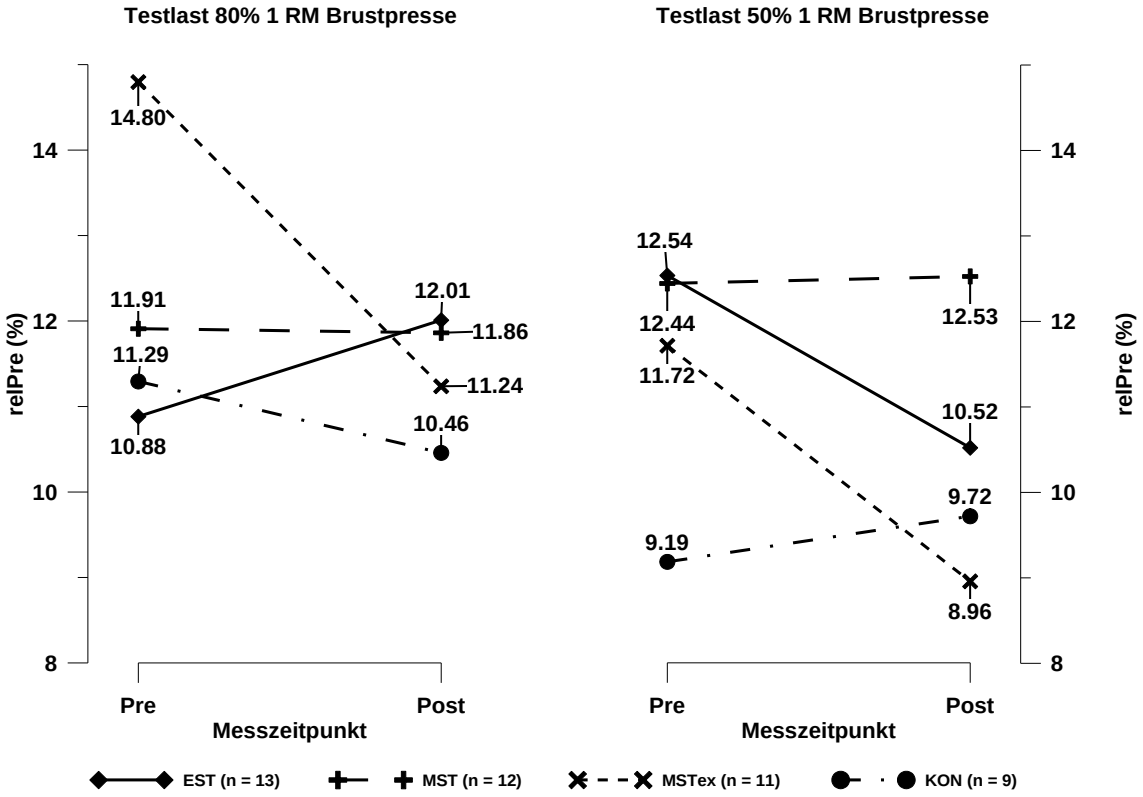

Abbildung 4-17: Veränderungen der relativen muskulären Vorspannung (relPre) für die Brustpresse über den Untersuchungszeitraum.

4.4.4 Hypothesenbesprechung und Diskussion

Die Überprüfung der relativen muskulären Vorspannung erfolgte auf Basis einer Hypothese:

$H_1$14: Die relative muskuläre Vorspannung ist innerhalb und zwischen den Gruppen zu beiden Messzeitpunkten für die Testübung a) Brustpresse und b) Beinpresse bei beiden Testlasten identisch.

Für die Testübung Brustpresse zeigen sich keine Unterschiede innerhalb und zwischen den Gruppen zu beiden Messzeitpunkten und bei beiden Testlasten. Die $H_1$14 ist anzunehmen.

In der Testübung Beinpresse ist die $H_1$14 mit wenigen Ausnahmen anzunehmen. Die $H_0$14, d.h. die relative muskuläre Vorspannung unterscheidet sich, wird für folgende Vergleiche beibehalten:

- Testlast 50% 1 RM: Gruppe EST,
- Testlast 50% 1 RM: Pre-Test, EST und MST gegenüber MSTex,
- Testlasten 50% gegenüber 80% 1 RM: Pre-Test, EST und MSTex; Post-Test, MST 80% 1 RM.

Es ist festzuhalten, dass die Standardisierung der relativen muskulären Vorspannung bei der Brustpresse gelungen ist, bei der Beinpresse hingegen Probleme auftreten. In der Literatur finden sich keine Vergleichsstudien zur Standardisierung der muskulären Vorspannung für dynamische Schnellkraftmessungen bei verschiedenen Übungen. Im Folgenden sollen mögliche Einflussfaktoren diskutiert werden.

Die Testanweisung an die Probanden sah die Einnahme einer individuellen, geringen muskulären Vorspannung vor, die auf das Kommando des Versuchsleiters in eine maximal explosive und kräftige konzentrische Kontraktion des Probanden endete (vgl. Kapitel 3.4.2). Der Fokus der Bewegungsanweisung lag hierbei auf der maximal explosiven und kräftigen Bewegungsausführung und nicht auf einer möglichst geringen bzw. einer vorab definierten muskulären Vorspannung. Ein visuelles Feedback der muskulären Vorspannung für die Probanden war aus organisatorischen Gründen nicht möglich. Stattdessen wurde bei erkennbar zu hohen muskulären Vorspannungen (> 20%) seitens des Untersuchungsleiters ein Hinweis auf die Verringerung der muskulären Vorspannung gegeben. Die Differenzierungsmöglichkeiten der muskulären Vorspannung können aufgrund der unterschiedlichen Zahl der von α-Motoneuronen innervierten Muskelfasern zwischen Ober- und Unterkörpermuskulatur variieren. Es ist davon auszugehen, dass bei der Oberkörpermuskulatur im Vergleich zur Unterkörpermuskulatur eine feinere Differenzierung möglich ist (Enoka, 2008, pp. 217–219). Diese könnte die hier gefundenen signifikanten Unterschiede in der Beinpresse erklären.

Betrachtet man die Wertebereiche der relativen muskulären Vorspannungen (Brustpresse: 9% bis 15%, Beinpresse: 5% bis 15%), so ist auf Basis der in Kapitel 2.4.2 vorgestellten Studien keine Aussage über den möglichen Einfluss dieser muskulären Vorspannungen auf die Variablen der muskulären Leistung in dieser Untersuchung möglich. Zum einen wurden isometrische bzw. isokinetische Bedingungen bei eingelenkigen Testübungen des Unterkörpers betrachtet und zum anderen ist der Bereich zwischen 5% und 15% der relativen muskulären Vorspannung empirisch unzureichend abgedeckt.

Für die Brustpresse ist - gemäß der Hypothesenbesprechung - von keinem Einfluss der relativen muskulären Vorspannung auszugehen. Bei der Testübung Beinpresse ist ein möglicher Einfluss der relativen muskulären Vorspannung bei einer Testlast von 50% 1 RM in der Gruppe EST bei der weiteren Betrachtung der Variablen der muskulären Leistung zu berücksichtigen.

4.5 Unterschiedsprüfung der Variablen der muskulären Leistung, Testübung Beinpresse

Die Unterschiedsprüfung erfolgt analog zur Maximal- und Sprungkraftvariablen mittels Messwiederholung (Innersubjektfaktor Messzeitpunkt 2 Stufen: Messzeitpunkt 1 und 2; Zwischensubjektfaktor Gruppe: EST, MST, MSTex, KON). A priori werden Kontraste gemäß der Hypothesen H_15, H_16 und H_17 für die Prüfung höherer Schnellkraftwerte der EST, MST und MSTex gegenüber der KON definiert. Die deskriptiven Tabellen sowie die weiteren statistischen Kennzahlen der Messwiederholung finden sich im Anhang VII.

4.5.1 Maximale Kraft (F_{max})

Die maximale Kraft (F_{max}) weist in der Testübung Beinpresse bei allen Trainingsgruppen Verbesserungen (80%: 4% - 10%; 50%: 4% - 15%) auf (Abbildung 4-18).

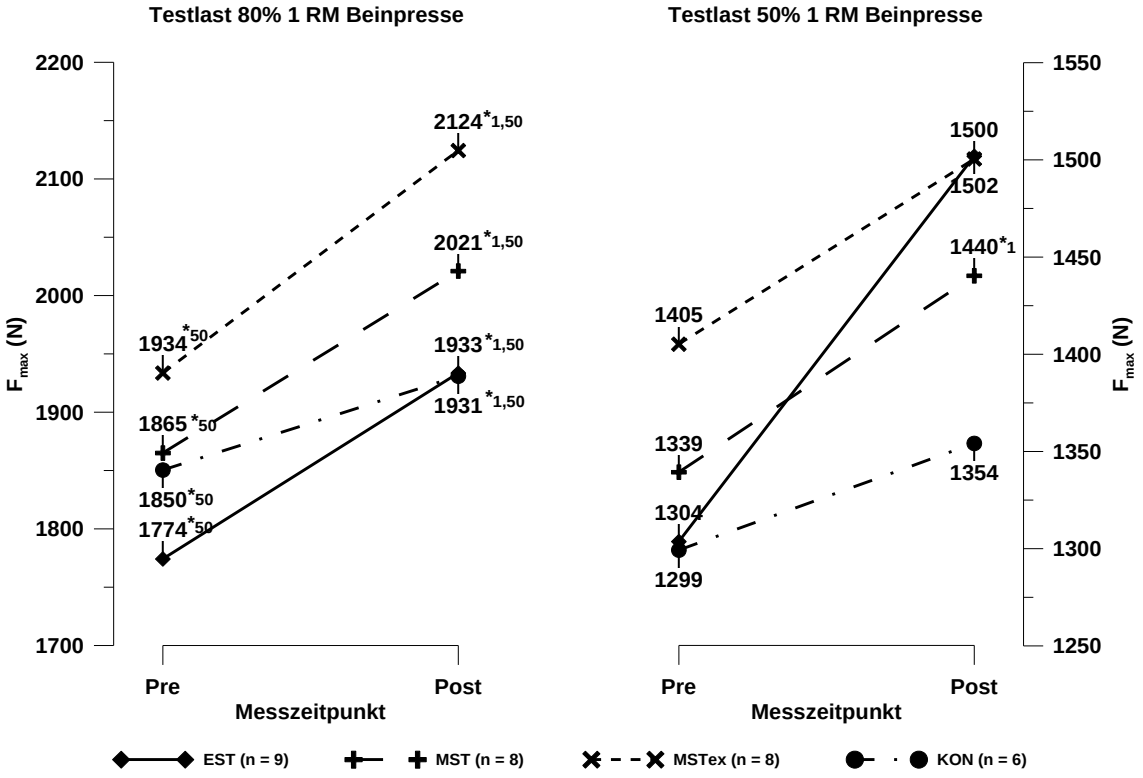

Abbildung 4-18: Veränderungen der Variable maximalen Kraft (F_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum (*x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; 50% der Testlast von 50% 1 RM).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt keine bedeutsamen Zwischensubjekteffekte für die Testübung Beinpresse. Innerhalb der Subjekte sind signifikante Effekte für die Faktoren Messzeitpunkt ($F(1, 27) = 41.804$, $p = .000$, $\eta^2_p = .608$) und Testlast ($F(1, 27) = 815.731$, $p = .000$, $\eta^2_p = .968$) zu erkennen. Von Messzeitpunkt 1 zu 2 offenbaren die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel signifikante Zunahmen der F_{max} bei einer Testlast von 80% für die

- EST: 159.27 N, *KI*: 98.76 N - 219.77 N, $p = .000$,
- MST: 155.98 N, *KI*: 91.80 N - 220.16 N, $p = .000$,
- MSTex: 190.71 N, *KI*: 126.53 N - 254.89 N, $p = .000$,
- KON: 80.48 N, *KI*: 6.37 N - 154.59 N, $p = .034$.

Bei einer Testlast von 50% ist eine signifikante Steigerung der F_{max} in der EST (198.20 N, *KI*: 67.45 N - 328.94 N, p = .004) festzustellen. Zwischen den Gruppen zeigen keine Unterschiede zum ersten (F(1, 27) ≤ .362, p ≥ .781, η^2_p ≤ .039) bzw. zweiten Messzeitpunkt (F(1, 27) ≤ .551, p ≥ .652, η^2_p ≤ .058) für beide Testlasten. Der bedeutsame Effekt des Faktors Testlast beruht auf einer höheren mittleren Differenz der F_{max} aller Gruppen von 536.07 N (*KI*: 497.56 N - 574.58 N, p = .000) bei einer Testlast von 80% im Vergleich zu 50% des 1 RM. Die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel zeigen für den ersten (F(1, 27) = 958.71, p ≤ .001, η^2_p = .973) und zweiten Messzeitpunkt (F(1, 27) = 281.97, p = .000, η^2_p = .913) signifikant höhere Kraftwerte für 80% 1 RM. Im Zeitverlauf von Messzeitpunkt 1 zu 2 nimmt die F_{max} bei 80% 1 RM (146.61 N, *KI*: 113.64 N - 179.58 N, p = .000) und 50% 1 RM (112.34 N, *KI*: 41.10 N - 183.58 N, p = .003) signifikant zu. Die a priori definierten Kontraste zeigen keinen bedeutsamen Unterschied zwischen den Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe (F(1, 27) = 0.262, p = .307, η^2_p = 010).

4.5.2 Maximale Kraftentwicklung (RFD_{max})

Die maximale Kraftentwicklung (RFD_{max}) weist in der Testübung Beinpresse bei allen Trainingsgruppen Verbesserungen (80%: 0% - 20%, 50%: 5% - 18%) auf (Abbildung 4-19).

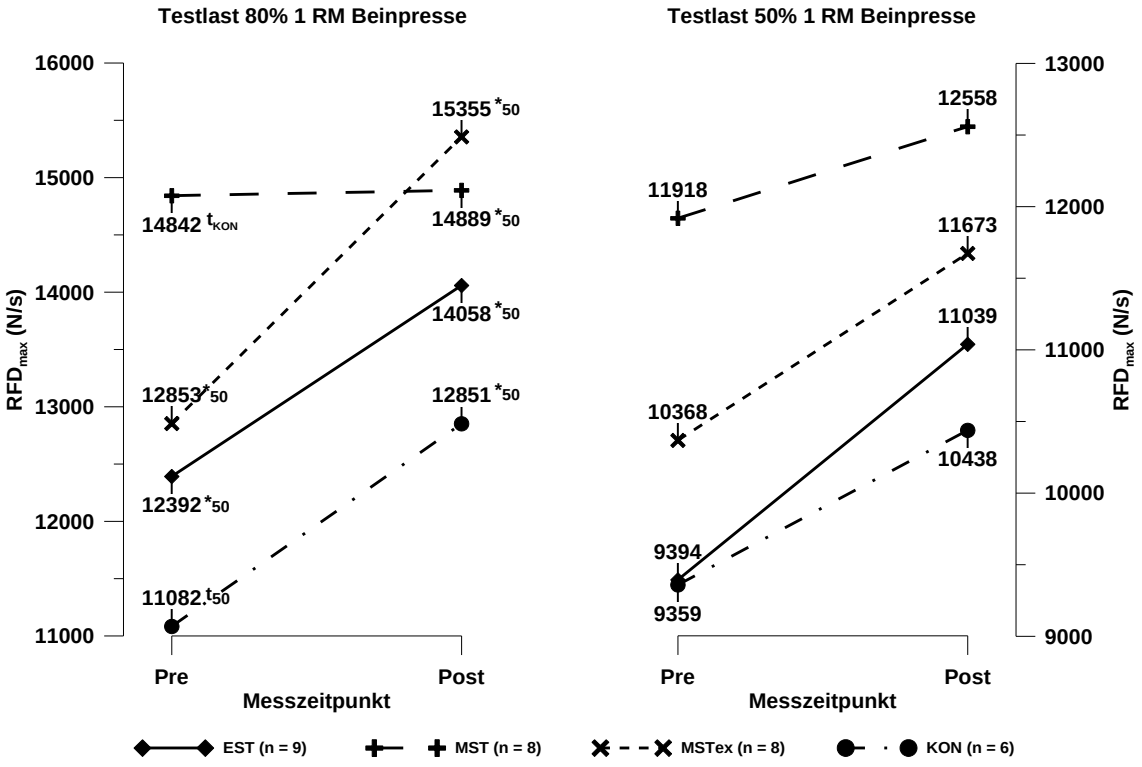

Abbildung 4-19: Veränderungen der Variable maximale Kraftentwicklung (RFD_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum (t_{KON}, tendenzieller Unterschied (p ≤ .10) zur Kontrollgruppe; t_{50}, tendenzieller Unterschied (p ≤ .10) zu 50% 1 RM; $*_{50}$, signifikanter Unterschied (p ≤ .05) zu 50% 1 RM).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt keine bedeutsamen Zwischensubjekteffekte für die Testübung Beinpresse. Innerhalb der Subjekte sind signifikante Effekte für die Faktoren Messzeitpunkt (F(1, 27) = 4.595, p = .041, η^2_p = .145) und Testlast (F(1, 27) = 77.160, p = .000, η^2_p = .741) auf die abhängige Variable RFD_{max} zu erkennen. Die Interaktionseffekte sind durchgehend unbedeutend. Die Betrachtung der geschätzten Randmittel lässt innerhalb der einzelnen Gruppen keine bedeutsamen Veränderungen der RFD_{max} von Messzeitpunkt 1 zu 2

erkennen (F(1. 27) ≤ 2.478, p ≥ .127, η^2_p ≤ .084). Zwischen den Gruppen zeigt die MST zum ersten Messzeitpunkt bei einer Testlast von 80% 1 RM tendenziell höhere Kraftentwicklungswerte als die KON (3759.19 N/s, *KI*: -360.42 N/s - 7878.79 N/s, p = .072). Im Zeitverlauf von Messzeitpunkt 1 zu 2 nimmt die RFD_{max} in allen Gruppen bei 80% 1 RM tendenziell um 1496.00 N/s (*KI*: -201.16 N/s - 3193.16 N/s, p = .082) zu, bei 50% 1 RM ist die Zunahme signifikant (1176.26 N/s, *KI*: 85.51 N/s - 2249.00 N/s, p = .035). Der Innersubjektfaktor Testlast hat zum ersten (F(1, 27) = 39.948, p = .000, η^2_p = .597) und zweiten (F(1, 27) = 37.517, p = .000, η^2_p = .582) Messzeitpunkt einen signifikanten Einfluss auf die Kraftentwicklung aller Gruppen: sie ist bei 80% 1 RM höher. Die gruppenspezifische Betrachtung der geschätzten Randmittel bestätigt mit Ausnahme der KON zum ersten Messzeitpunkt (F(1. 27) = 3.663. p = .066. η^2_p = .119) diese Beobachtungen. Die a priori definierten Kontraste zeigen keinen bedeutsamen Unterschied zwischen den Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe (F(1, 27) = 1.612, p = .108, η^2_p = 056).

4.5.3 Normalisierte Kraft-Zeit-Kurve

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist für die Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM einen bedeutsamen Haupteffekt für den Faktor normalisierte Zeitwerte (NormZeit) auf (F(2.664, 2700) = 329.017, p = .000, η^2_p = .924), d.h. die Kraftwerte unterscheiden sich im Verlauf der Kraft-Zeit-Kurve (vgl. Abbildung 4-20).

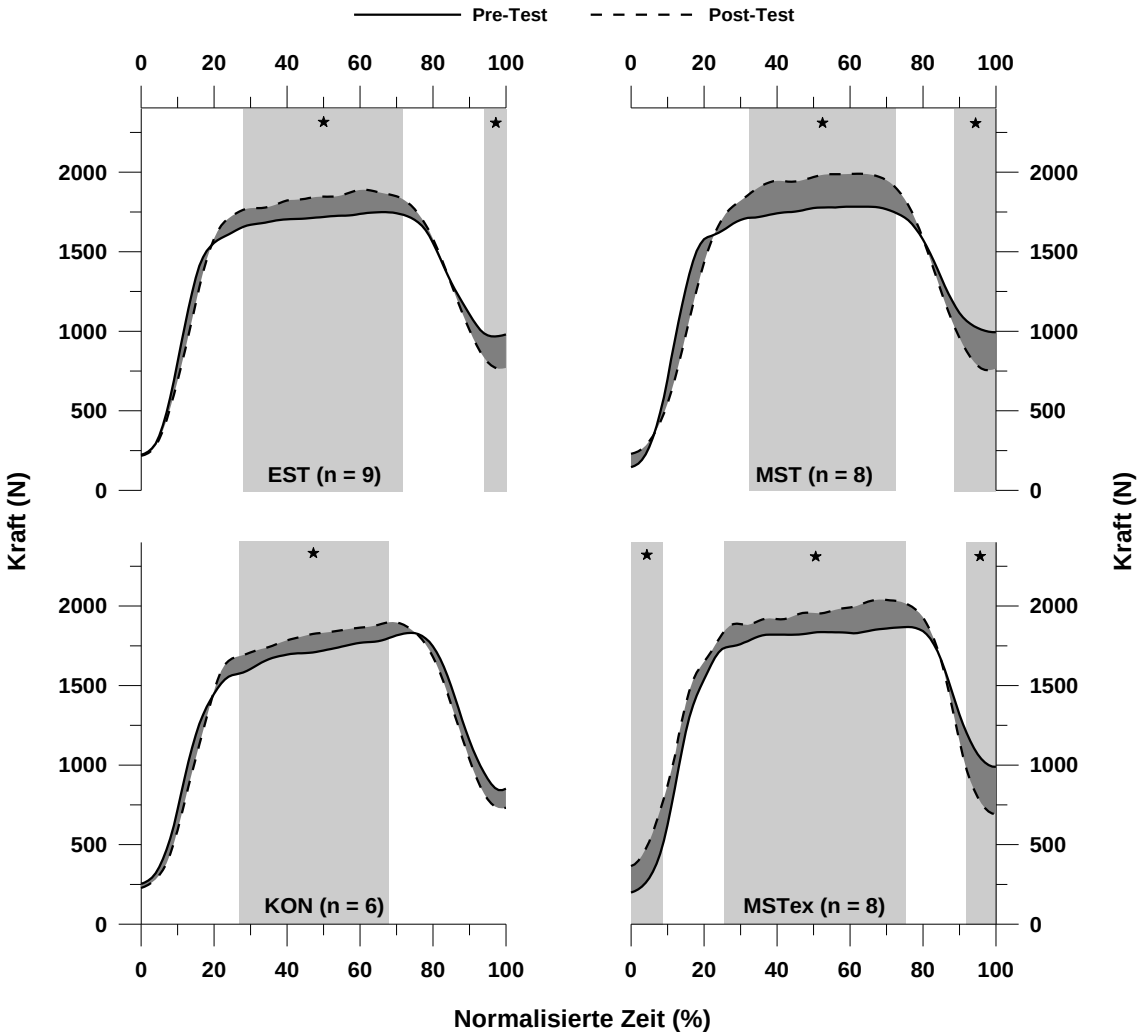

Abbildung 4-20: Normalisierte Kraft-Zeit-Kurve der Testübung Beinpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 80% 1 RM (*, signifikanter Unterschied (p ≤ .05)).

Der Faktor Messzeitpunkt deutet auf tendenzielle Unterschiede (F(1, 27) = 4.030, p = .055, η^2_p = .130) zwischen dem Pre- und Post-Test hin. Ein signifikanter Interaktionseffekt ist für NormZeit*Messzeitpunkt festzustellen (F(2.884, 77,858) = 10.289, p = .000, η^2_p = .276). Die geschätzten Randmittel offenbaren für alle Gruppen bedeutsame Unterschiede zwischen 1% - 5% (F(1, 27) ≥ 4.819, p ≤ .037, η^2_p ≥ .151), 25% - 75% (F(1, 27) ≥ 5.607, p ≤ .025, η^2_p ≥ .172) und 88% - 100% (F(1, 27) ≥ 4.459, p ≤ .044, η^2_p ≥ .142) der normalisierten Kraft-Zeit-Kurve, die gruppenspezifisch Unterschiede aufweisen.

Die paarweisen Vergleiche zwischen den Gruppen zu Messzeitpunkt 1 und 2 identifizieren signifikant höhere Kraftwerte der MSTex im Pre-Test im Vergleich zur EST zwischen 82% - 87% sowie tendenzielle Unterschiede zur MST zwischen 82% und 86%. Im Post-Test zeigt ebenfalls die MSTex signifikante höhere Kraftwerte zum Bewegungsende im Vergleich zur EST (79% - 85%) und MST (80% - 87%). Zu Beginn der Kraft-Zeit-Kurve sind bedeutsam höhere normalisierte Werte der MSTex im Vergleich zur EST (2% - 7%), MST (3% - 17%) und KON (3% - 9%) festzustellen (vgl. Abbildung 4-21). Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen (F(1, 27) = 0.282, p = .300, η^2_p = .010).

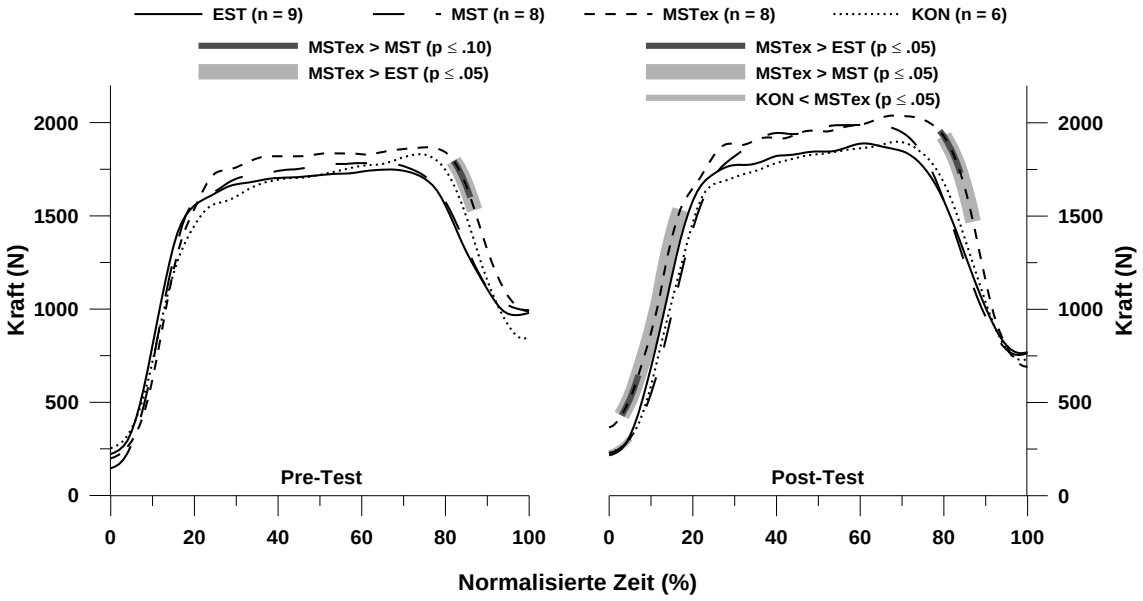

Abbildung 4-21: Vergleichende Kraft-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist für eine Testlast von 50% 1 RM einen bedeutsamen Haupteffekt für den Faktor NormZeit auf (F(3.225, 87.071) = 226.380, p = .000, η^2_p = .893), d.h. die Kraftwerte unterscheiden sich im Verlauf der Kraft-Zeit-Kurve. Der Faktor Messzeitpunkt zeigt keine Unterschiede zwischen dem Pre- und Post-Test. Ein signifikanter Interaktionseffekt ist für NormZeit*Messzeitpunkt festzustellen (F(3.488, 94.165) = 3.727, p = .010, η^2_p = .121). Die geschätzten Randmittel offenbaren hierfür tendenzielle Unterschiede zwischen 3% - 9% (F(1. 27) ≥ 2.991, p ≤ .095, η^2_p ≥ .100) sowie bedeutsame Unterschiede zwischen 27% - 63% (F(1. 27) ≥ 5.382, p ≤ .028, η^2_p ≥ .166), die auf die höheren normalisierten Kraftwerte der EST zu Messzeitpunkt 2 zurückzuführen sind (vgl. Abbildung 4-22).

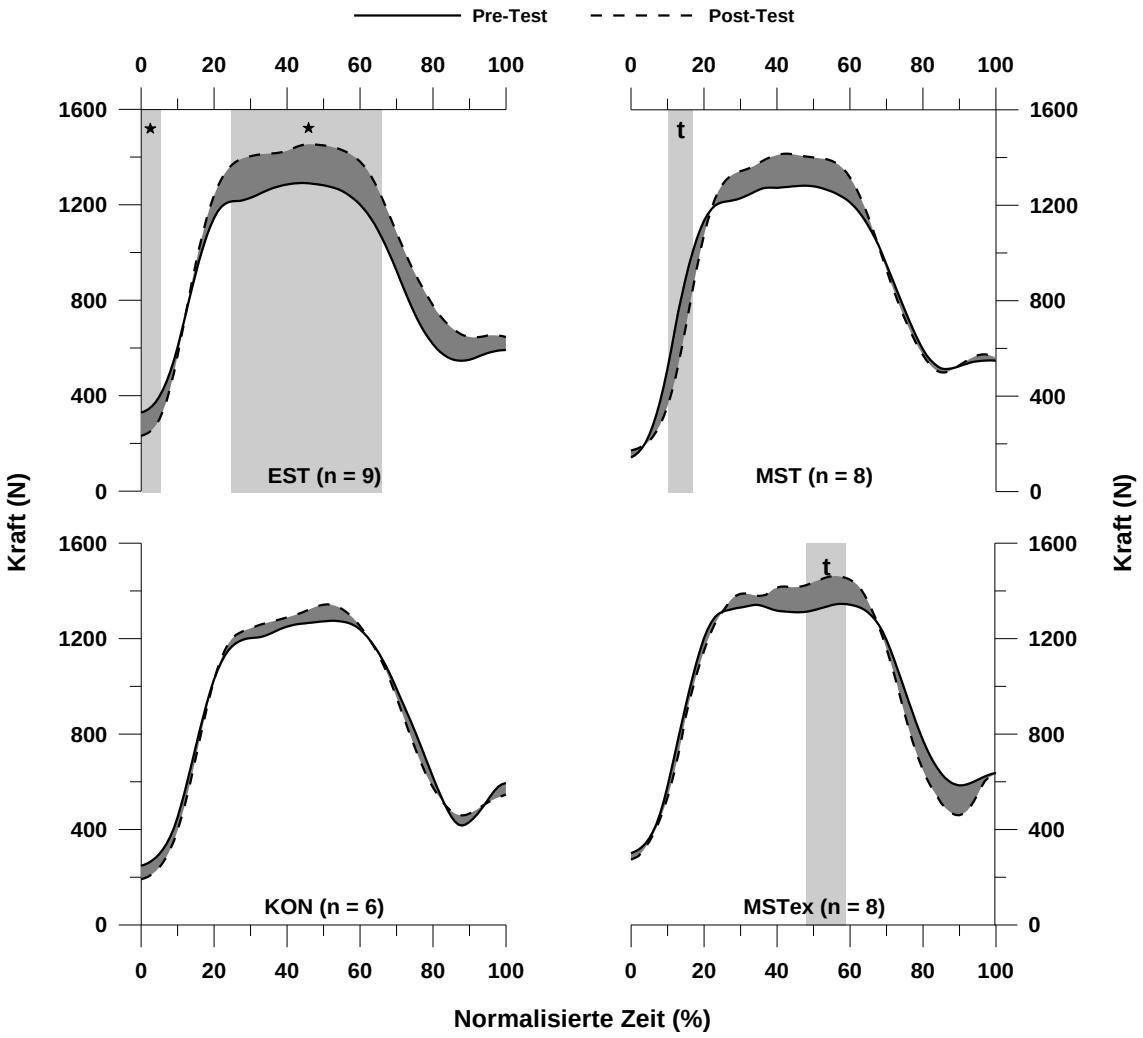

Abbildung 4-22: Normalisierte Kraft-Zeit-Kurve der Testübung Beinpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 50% 1 RM (*, signifikanter Unterschied (*p* ≤ .05); t, tendenzieller Unterschied (*p* ≤ .10)).

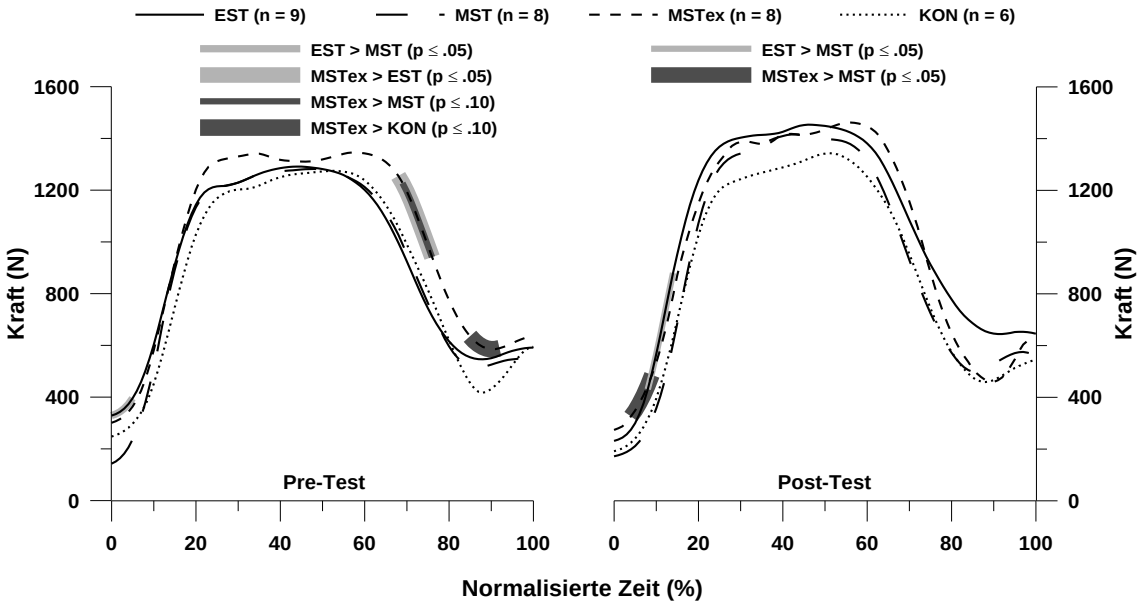

Abbildung 4-23: Vergleichende Kraft-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM.

Die paarweisen Vergleiche zwischen den Gruppen zu Messzeitpunkt 1 und 2 identifizieren signifikant höhere normalisierte Kraftwerte der EST im Vergleich zur MST zwischen 1% und 6% im Pre-Test. Die MSTex weist im Vergleich zur EST zwischen 68% - 77% bedeutsam höhere Werte auf; die Unterschiede zur MST (69% - 77%) und KON (85% -92%) sind tendenziell. Im Post-Test zeigen die MSTex (4% - 9%) und EST (8% -14%) signifikante höhere Kraftwerte im Vergleich zur MST (vgl. Abbildung 4-23). Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 27) = 1.010$, $p = .162$, $\eta^2_p = .036$).

4.5.4 Maximale Leistung (P_{max})

Die Betrachtung der Veränderungen der maximalen Leistung (P_{max}) zeigt für die drei Trainingsgruppen sowohl bei 80% 1 RM als auch bei 50% 1 RM deutlich höhere Leistungszuwächse als die KON (32% - 34% bzw. 13%-23% gegenüber 14% bzw. 9%) (vgl. Abbildung 4-24).

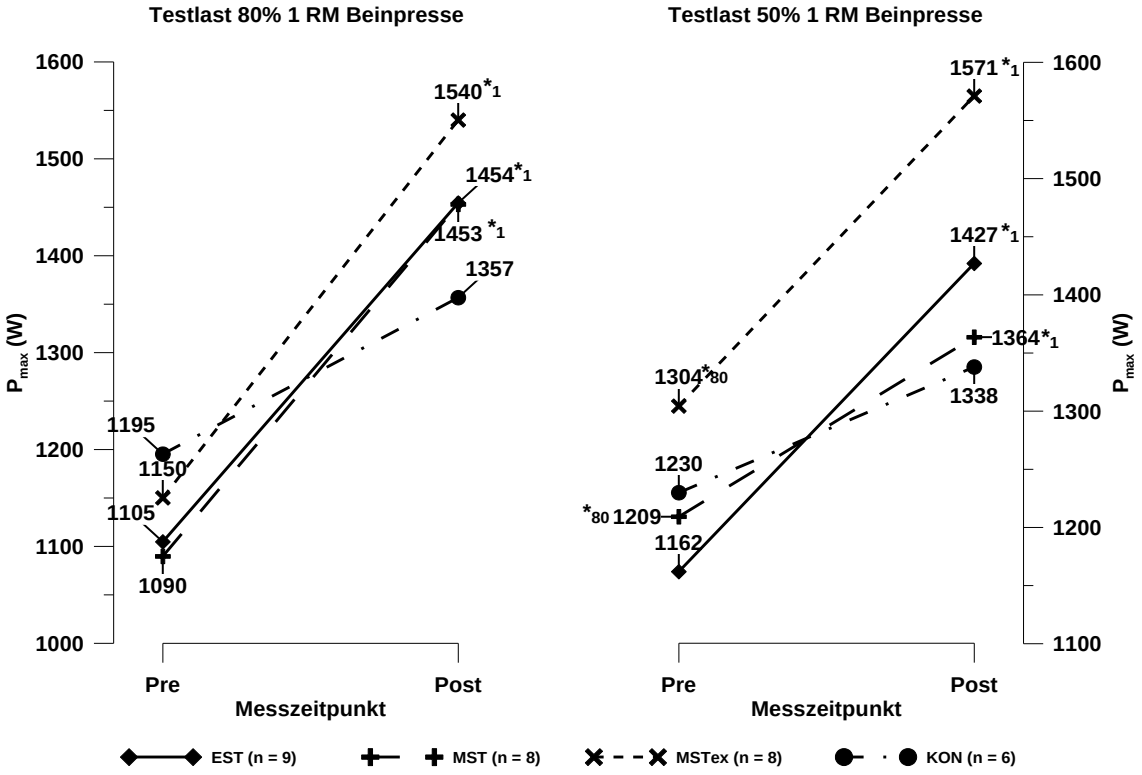

Abbildung 4-24: Veränderungen der Variable maximale Leistung (P_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test; $*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt keine bedeutsamen Zwischensubjekteffekte für die Testübung Beinpresse. Innerhalb der Subjekte ist ein signifikanter Effekt für den Faktor Messzeitpunkt ($F(1, 27) = 40.672$, $p = .000$, $\eta^2_p = .601$) auf die abhängige Variable P_{max} zu erkennen. Die Interpretation des Haupteffekts wird durch den bedeutsamen Interaktionseffekt von Messzeitpunkt*Testlast ($F(1, 27) = 30.615$, $p = .000$, $\eta^2_p = .531$) obsolet. Offensichtlich hat die Testlast einen Einfluss auf die Veränderungen zu den Messzeitpunkten. Der tendenzielle Interaktionseffekt von Messzeitpunkt*Testlast*Gruppe ($F(3, 27) = 2.467$, $p = .084$, $\eta^2_p = .215$) deutet auf gruppenspezifische Anpassungen hin.

Die Betrachtung der geschätzten Randmittel zeigt für den Vergleich der P_{max} beider Testlasten zum Messzeitpunkt 1 signifikant höhere Leistungswerte bei 50% 1 RM (91.41 W, *KI*: 38.75 W -

144.07 W, p = .001). Die Betrachtung der einzelnen Gruppen offenbart diese Unterschiede in der MST (119.52 W, *KI*: 17.02 W - 222.03 W, p = .024) und MSTex (154.29 W, *KI*: 51.78 W - 256.80 W, p = .005). Zum zweiten Messzeitpunkt werden bei 80% 1 RM unbedeutend höhere maximale Leistungswerte erreicht (26.14 W, *KI*: -28.98 W - 81.26 W, p = .339). Im Vergleich von Messzeitpunkt 1 zu 2 sind die Leistungswerte für alle Gruppen bei beiden Testlasten signifikant angestiegen:

- 80% 1 RM: 316.08 W (*KI*: 222.55 W - 409.62 W), p = .000,
- 50% 1 RM: 198.54 W (*KI*: 121.67 W - 275.40 W), p = .000.

Hierbei beschränkt sich der Anstieg der P_{max} auf die drei Trainingsgruppen, wie die Abbildung 4-24 zeigt. Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen (F(1, 27) = 0.088, p = .384, η^2_p = .003).

4.5.5 Maximale Leistungsentwicklung (RPD_{max})

Die maximale Leistungsentwicklung (RPD_{max}) zeigt in den Trainingsgruppen über den Untersuchungszeitraum größere prozentuale Zuwächse bei einer Testlast von 80% 1 RM (64%-77%) im Vergleich zu 50% 1 RM (23%-46%). Die Kontrollgruppe verbessert die RPD_{max} um 27% bzw. 31% (vgl. Abbildung 4-25).

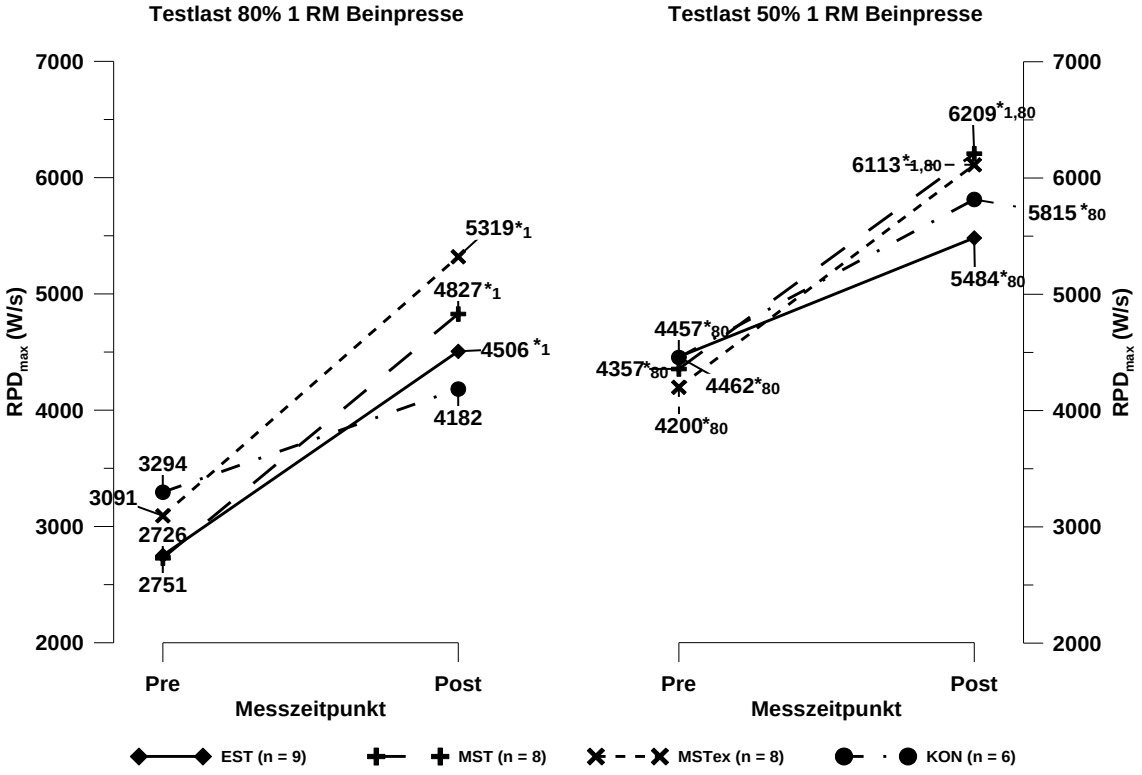

Abbildung 4-25: Veränderungen der Variable maximale Leistungsentwicklung (RPD_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test; $*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt keine bedeutsamen Zwischensubjekteffekte für die Testübung Beinpresse. Innerhalb der Subjekte sind signifikante Haupteffekte für die Faktoren Messzeitpunkt (F(1, 27) = 27.848, p = .000, η^2_p = .508) und Testlast (F(1, 27) = 63.599, p = .000, η^2_p = .702) auf die abhängige Variable RPD_{max} zu erkennen. Die bedeutsame Interaktion von Messzeitpunkt*Testlast (F(1, 27) = 4.955, p = .035, η^2_p = .155) zeigt einen Einfluss der

Testlast auf die Veränderungen zu den Messzeitpunkten. Sowohl zum ersten (1403.22 W/s, *KI*: 1090.09 W/s - 1716.35 W/s, p = .000) als auch zweiten (1090.47 W/s, *KI*: 704.05 W/s - 1476.89 W/s, p = .000) Messzeitpunkt ist die maximale Leistungsentwicklung in allen Gruppen bei einer Testlast von 50% 1 RM signifikant höher. Dieser signifikante Unterschied ist in allen Gruppen zu beiden Messzeitpunkten festzustellen. Im Vergleich von Messzeitpunkt 1 zu 2 sind die Leistungswerte bei beiden Testlasten signifikant angestiegen, wobei der Anstieg bei 80% 1 RM höher ausfiel:

- 80% 1 RM: 1742.60 W/s (*KI*: 1151.78 W/s - 2333.43 W/s, p = .000,
- 50% 1 RM: 1429.85 W/s (*KI*: 756.61 W/s - 2103.09 W/s), p = .000.

Hierbei beschränkt sich der Anstieg der RPD_{max} bei 80% 1 RM auf alle 3 Trainingsgruppen und bei 50% 1 RM auf die MST und MSTex (Abbildung 4-25). Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen (F(1, 27) = 0.077, p = .392, η^2_p = .003).

4.5.6 Normalisierte Leistungs-Zeit-Kurve

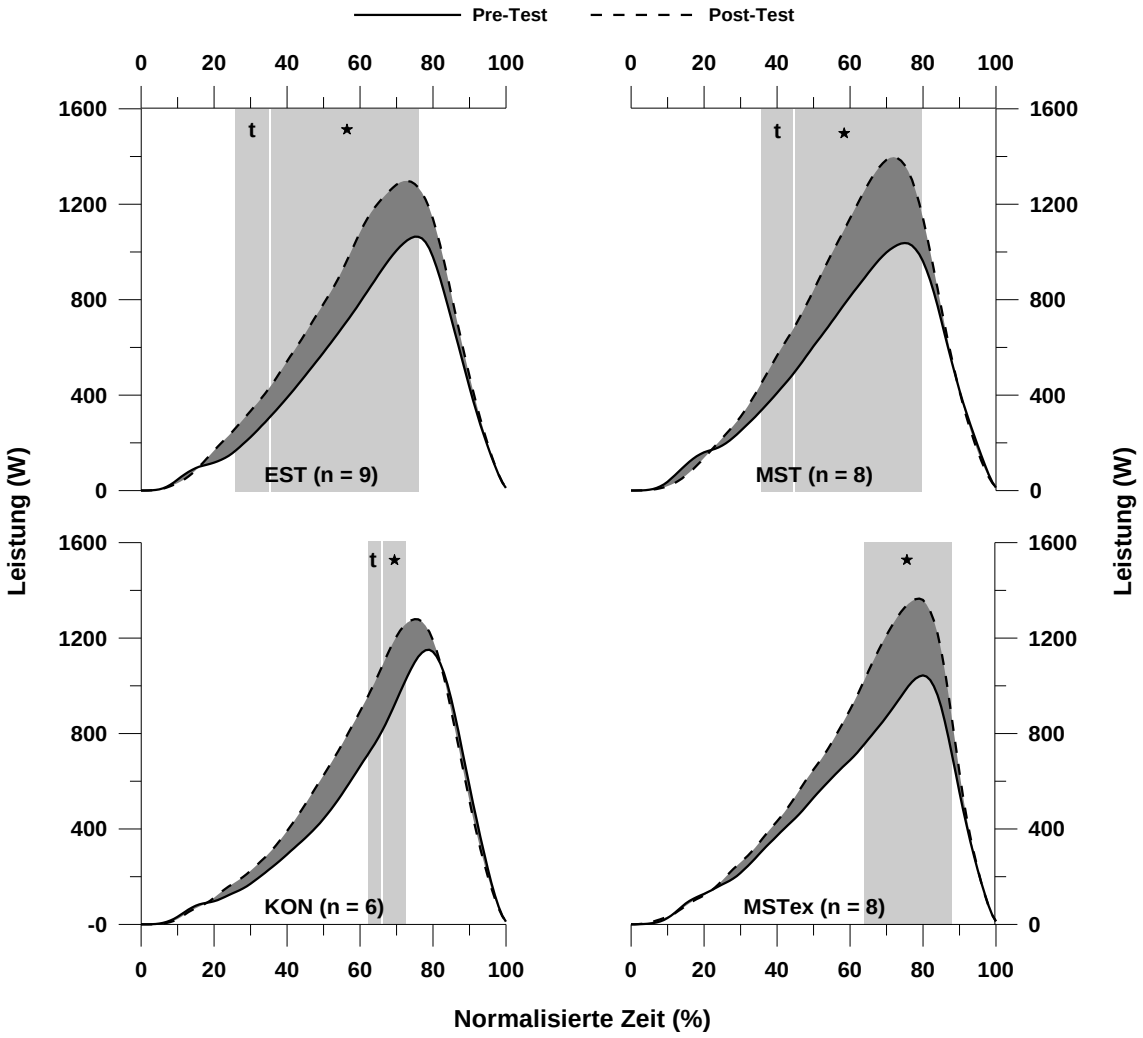

Abbildung 4-26: Normalisierte Leistungs-Zeit-Kurve der Testübung Beinpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 80% 1 RM (*, signifikanter Unterschied (p ≤ .05); t, tendenzieller Unterschied (p ≤ .10)).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist für die Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM einen bedeutsamen Haupteffekt für den Faktor NormZeit auf (F(2.211, 59.690) = 230.840, p = .000, η^2_p = .895), d.h. die Leistungswerte unterscheiden sich im Verlauf der Leistungs-Zeit-Kurve. Der ebenfalls bedeutsame Faktor Messzeitpunkt (F(1, 27) = 25.416, p = .000, η^2_p = .485) deutet auf Unterschiede zwischen dem Pre- und Post-Test hin. Ein signifikanter Interaktionseffekt ist für NormZeit*Messzeitpunkt (F(1.982, 53.504) = 11.211, p = .000, η^2_p = .293) festzustellen.

Die geschätzten Randmittel offenbaren hierfür bedeutsame Unterschiede zwischen 52% - 66% (F(1, 27) ≥ 4.356, p ≤ .046, η^2_p ≥ .139), die gruppenspezifisch Unterschiede aufweisen (vgl. Abbildung 4-26). Die EST zeigt eine tendenzielle (26% - 35%) und signifikante Zunahme (36% - 76%) der normalisierten Leistungswerte. Die MST zeigt ähnliche Veränderungen, die zeitlich später erfolgen (38% - 44% bzw. 45% - 79%). In der KON sind nur für einen kleinen Bereich zwischen 62% - 72% Veränderungen zu erkennen, die MSTex weist bedeutsam höhere normalisierte Leistungswerte zwischen 63% und 87% auf.

Die geschätzten Randmittel offenbaren für den paarweisen Vergleich der Gruppe zum ersten Messzeitpunkt tendenziell höhere normalisierte Leistungswerte der EST im Vergleich zur KON (46% - 53%) und signifikant höhere Werte der MST zur KON (45% - 57%). Zum zweiten Messzeitpunkt weist die MSTex bedeutsam höhere Leistungswerte gegenüber der EST (82% - 89%) und MST (82% - 93%) auf (Abbildung 4-27). Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen (F(1, 27) = 0.621, p = .219, η^2_p = .022).

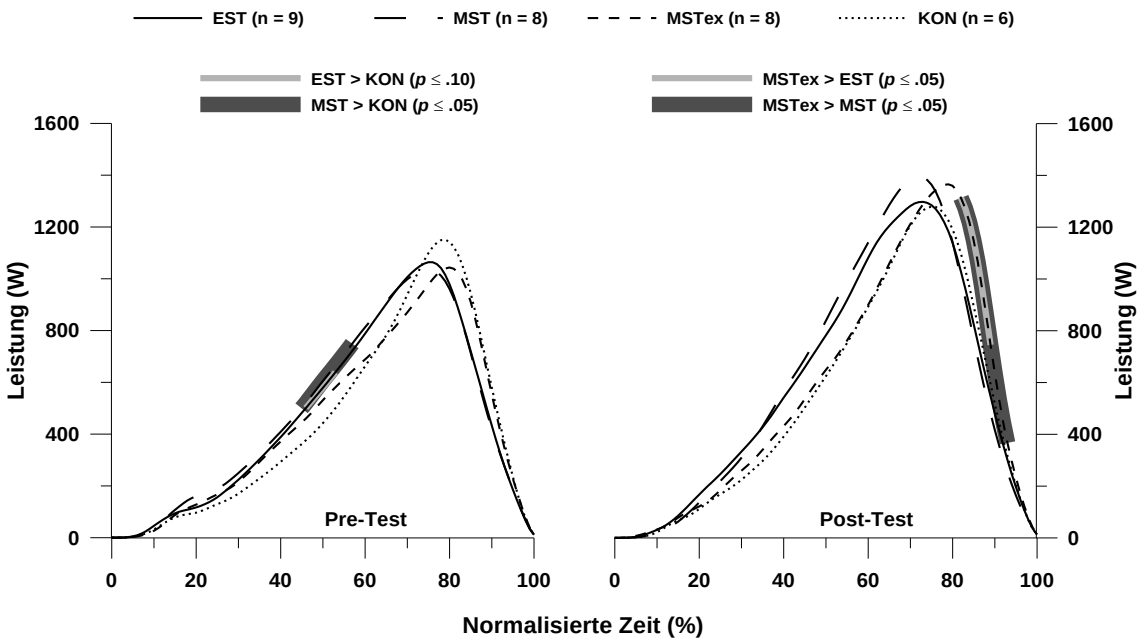

Abbildung 4-27: Vergleichende Leistungs-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist für die Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM einen bedeutsamen Haupteffekt für den Faktor NormZeit auf (F(2.346, 63.352) = 199.063, p = .000, η^2_p = .881), d.h. die Leistungswerte unterscheiden sich im Verlauf der Leistungs-Zeit-Kurve. Der ebenfalls bedeutsame Faktor Messzeitpunkt (F(1, 27) = 6.481, p = .017, η^2_p = .194) deutet auf Unterschiede zwischen dem Pre- und Post-Test hin.

Mit Ausnahme der MSTex zeigen die anderen Gruppen von Messzeitpunkt 1 zu 2 keine bedeutsamen Veränderungen in der normalisierten Leistungs-Zeit-Kurve. In der MSTex sind signifikant höhere Werte zwischen 55% und 65% festzustellen (vgl. Abbildung 4-28).

Der paarweise Vergleich der geschätzten Randmittel zum ersten Messzeitpunkt zeigt höhere Leistungswerte der EST im Vergleich zur KON zu Bewegungsbeginn. Zum zweiten Messzeitpunkt sind ebenfalls signifikant höhere Werte der EST zu Bewegungsbeginn gegenüber der KON und MST festzustellen. Im Verlauf der normalisierten Leistungs-Zeit-Kurve offenbart die MSTex tendenziell höhere Leistungswerte als die EST (67% - 69%) und MST (68% - 73%) (Abbildung 4-29). Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 27) = 0.441$, $p = .256$, $\eta^2_p = .016$).

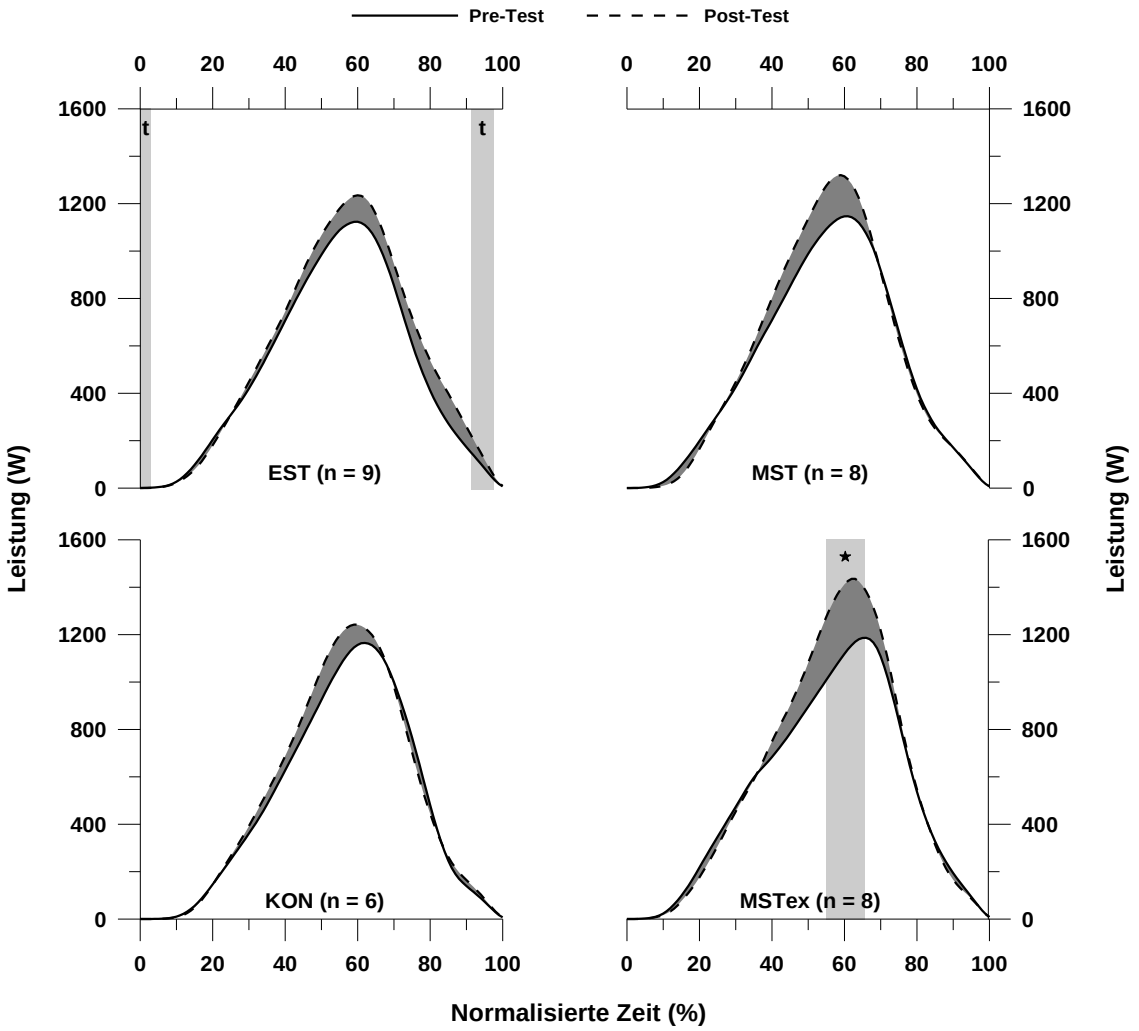

Abbildung 4-28: Normalisierte Leistungs-Zeit-Kurve der Testübung Beinpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 50% 1 RM (*, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); t, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$)).

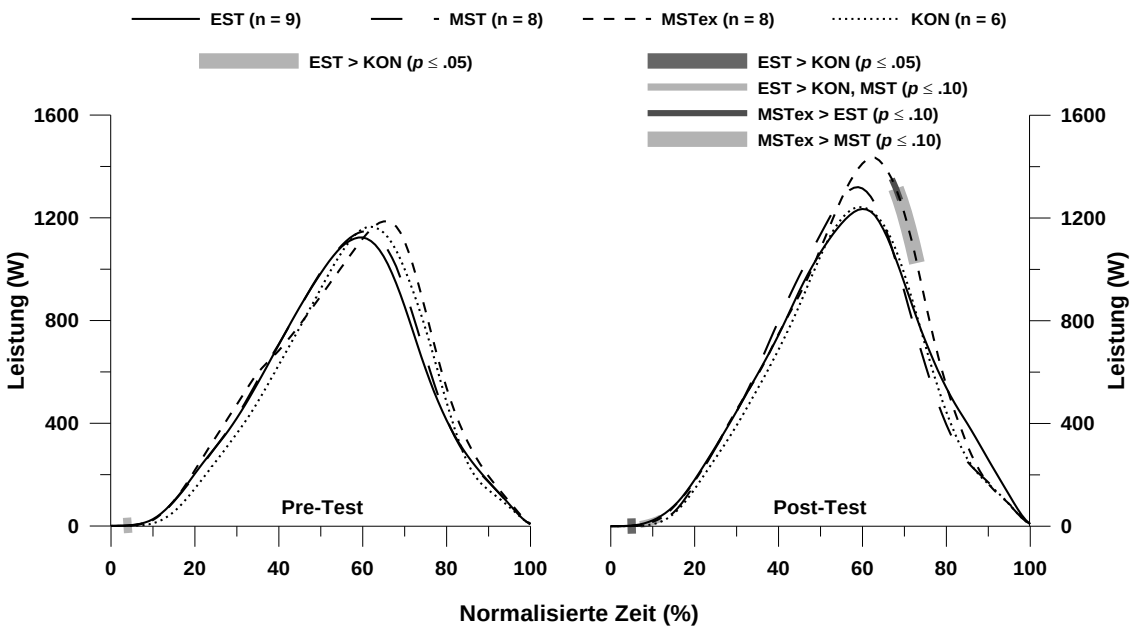

Abbildung 4-29: Vergleichende Leistungs-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM.

4.5.7 Maximale Geschwindigkeit (v_{max})

Die Betrachtung der Veränderungen der maximalen Geschwindigkeit (v_{max}) zeigt von Messzeitpunkt 1 zu 2 für alle drei Trainingsgruppen bei 80% 1 RM deutlich höhere Geschwindigkeitszunahmen im Vergleich zur KON (21%-24% gegenüber 9%) (vgl. Abbildung 4-30).

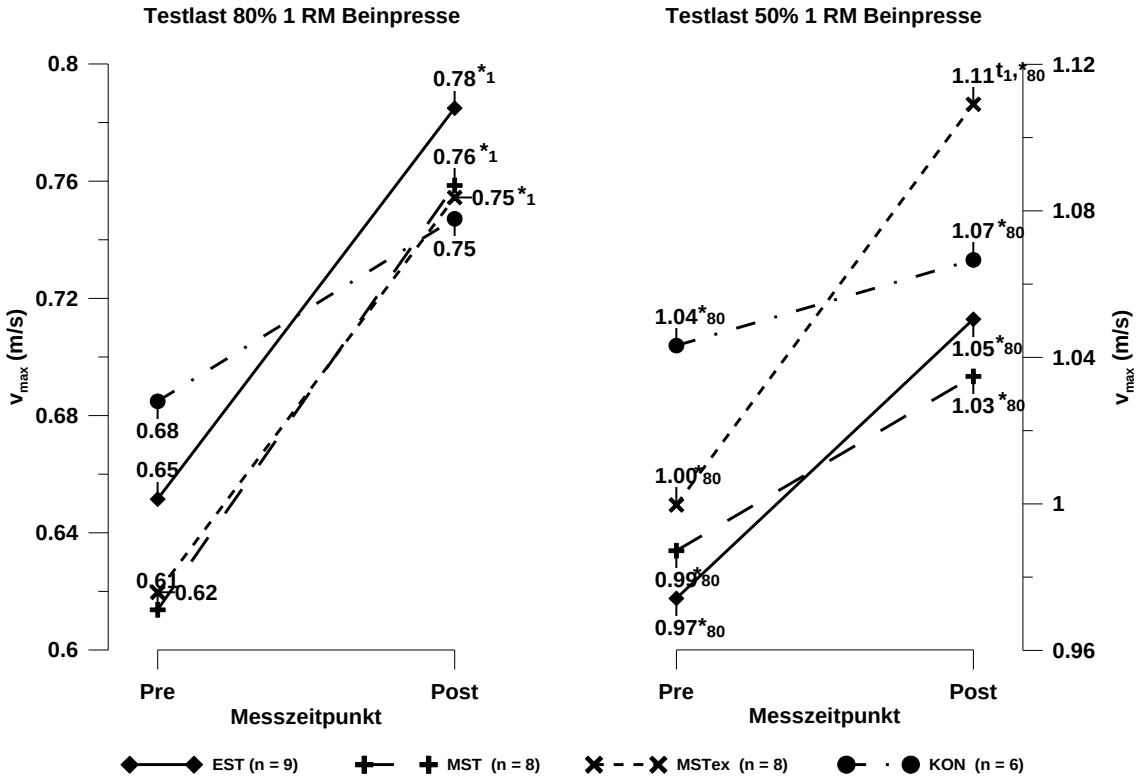

Abbildung 4-30: Veränderungen der Variable maximale Geschwindigkeit (v_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test; $*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM; t_1, tendenzieller Unterschied zum Pre-Test ($p \leq .10$)).

Bei einer Testlast von 50% 1 RM fällt der höhere Zuwachs der MSTex (11%) im Vergleich zur EST und MST (5% - 8%) sowie KON (2%) auf.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt keine bedeutsamen Zwischensubjekteffekte für die Testübung Beinpresse. Innerhalb der Subjekte sind signifikante Haupteffekte für die Faktoren Messzeitpunkt ($F(1, 27) = 17.889$, $p = .000$, $\eta^2_p = .399$) und Testlast ($F(1, 27) = 399.544$, $p = .000$, $\eta^2_p = .973$) auf die abhängige Variable v_{max} zu erkennen. Die bedeutsame Interaktion der Haupteffekte Messzeitpunkt*Testlast ($F(1, 27) = 7.780$, $p = .010$, $\eta^2_p = .224$) deutet auf Unterschiede in den Veränderungen der Geschwindigkeit zwischen den Testlasten zu den Messzeitpunkten hin. Zum ersten bzw. zweiten Messzeitpunkt ist die maximale Geschwindigkeit bei einer Testlast von 50% um 0.36 m/s (*KI*: 0.33 m/s - 0.39 m/s, $p = .000$) bzw. 0.31 m/s (*KI*: 0.26 m/s - 0.36 m/s, $p = .000$) signifikant höher als bei 80% 1 RM. Im Vergleich von Messzeitpunkt 1 zu 2 zeigt sich bei beiden Testlasten ein signifikanter Anstieg der Geschwindigkeitswerte aller Gruppen:

- 80% 1 RM 0.12 m/s (*KI*: 0.08 m/s - 0.16 m/s), $p = .000$,
- 50% 1 RM 0.07 m/s (*KI*: 0.01 m/s - 0.12 m/s), $p = .024$.

In der Einzelbetrachtung der Gruppen beschränkt sich der Anstieg der v_{max} bei der Testlast von 80% 1 RM auf alle drei Trainingsgruppen, bei 50% 1 RM ist lediglich ein tendenzieller Anstieg in der MSTex festzustellen. Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 27) = 0.293$, $p = .297$, $\eta^2_p = .011$).

4.5.8 Normalisierte Geschwindigkeits-Zeit-Kurve

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist für die Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM einen bedeutsamen Haupteffekt für den Faktor NormZeit auf ($F(2.324, 62.750) = 402.859$, $p = .000$, $\eta^2_p = .937$), d.h. die Geschwindigkeitswerte unterscheiden sich im Verlauf der Geschwindigkeits-Zeit-Kurve. Der ebenfalls bedeutsame Faktor Messzeitpunkt ($F(1, 27) = 19.531$, $p = .000$, $\eta^2_p = .420$) deutet auf Unterschiede zwischen dem Pre- und Post-Test hin. Ein signifikanter Interaktionseffekt ist für NormZeit*Messzeitpunkt ($F(2.224, 60.043) = 9.177$, $p = .000$, $\eta^2_p = .254$) festzustellen.

Die paarweisen Vergleiche geschätzten Randmittel offenbaren hierfür bedeutsame Unterschiede zwischen 38% - 100% ($F(1. 27) \geq 4.324$, $p \leq .047$, $\eta^2_p \geq .138$) der normalisierten Geschwindigkeits-Zeit-Kurve, die gruppenspezifisch Unterschiede aufweisen (vgl. Abbildung 4-31). Die EST zeigt tendenzielle (24% - 54%, 77% - 86% und 96% - 100%) und signifikante Zunahmen (55% - 76% und 87% - 95%) der normalisierten Geschwindigkeitswerte. Die MST zeigt ähnliche Veränderungen, die zeitlich später erfolgen (tendenziell: 45% - 51% bzw. 85% - 90%; signifikant: 52% - 84%). In der KON sind für einen kleinen Bereich zwischen 65% - 73% tendenzielle Veränderungen zu erkennen, die MSTex weist bedeutsam höhere normalisierte Geschwindigkeitswerte zwischen 67% und 100% auf (vgl. Abbildung 4-31).

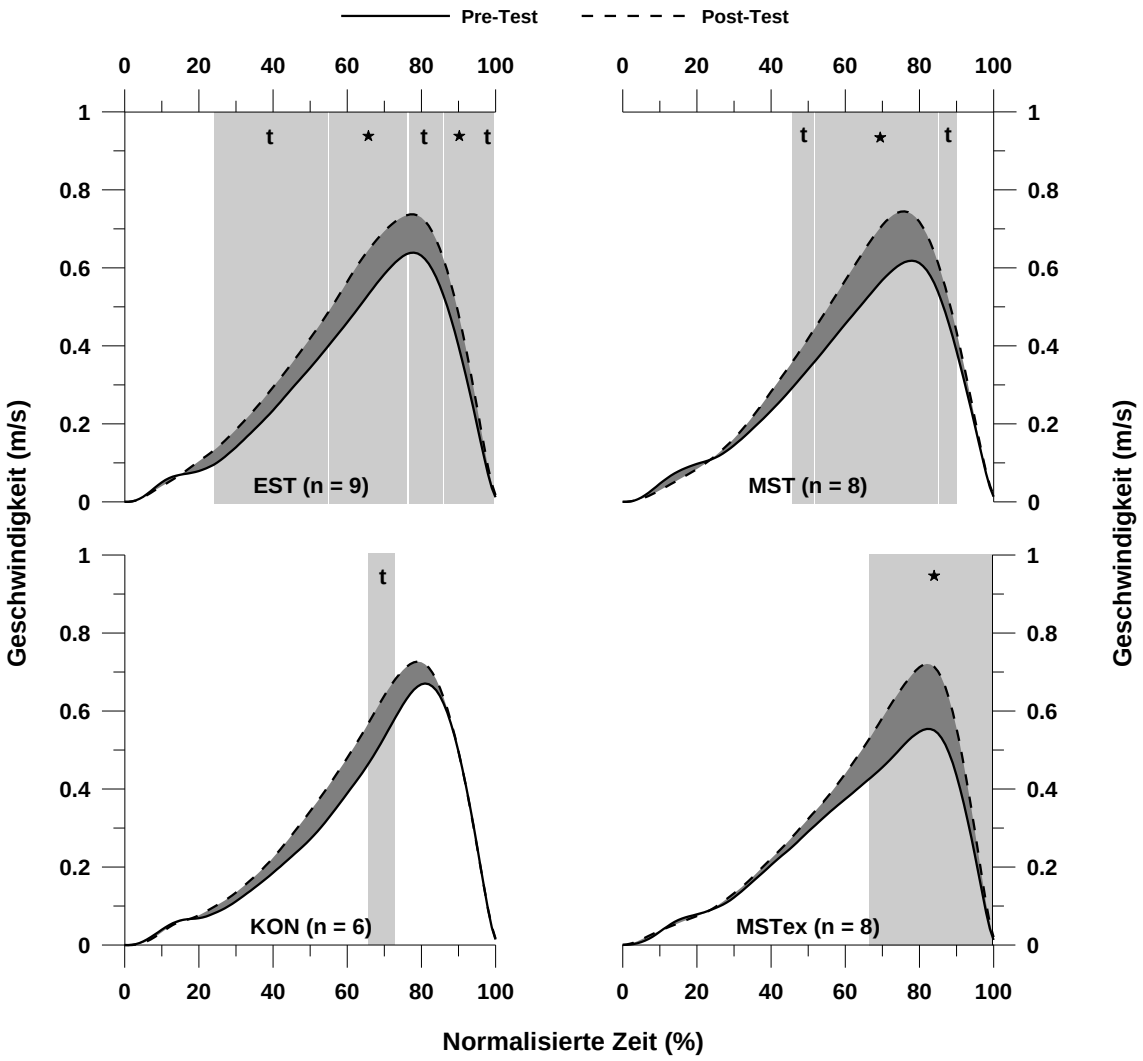

Abbildung 4-31: Normalisierte Geschwindigkeits-Zeit-Kurve der Testübung Beinpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 80% 1 RM (*, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); t, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$)).

Die geschätzten Randmittel offenbaren für den paarweisen Vergleich der Gruppen zum ersten Messzeitpunkt tendenziell höhere normalisierte Geschwindigkeitswerte der EST im Vergleich zur KON (50% - 53%) und signifikant höhere Werte zur MSTex (61% - 74%). Die MST zeigt im Vergleich zur MSTex zwischen 58% und 72% tendenziell bzw. bedeutsam höhere Geschwindigkeitswerte. Zum Bewegungsende sind tendenziell höhere Geschwindigkeiten der KON im Vergleich zur MST zu erkennen.

Zum zweiten Messzeitpunkt sind in der MSTex bedeutsam höhere Geschwindigkeitswerte gegenüber der MST (86% - 99%) sowie bedeutsam (89% - 94%) und tendenziell (87% - 88%, 95% - 99%) höhere Werte gegenüber der EST zu erkennen.

Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 27) = 0.123$, $p = .364$, $\eta^2_p = .005$).

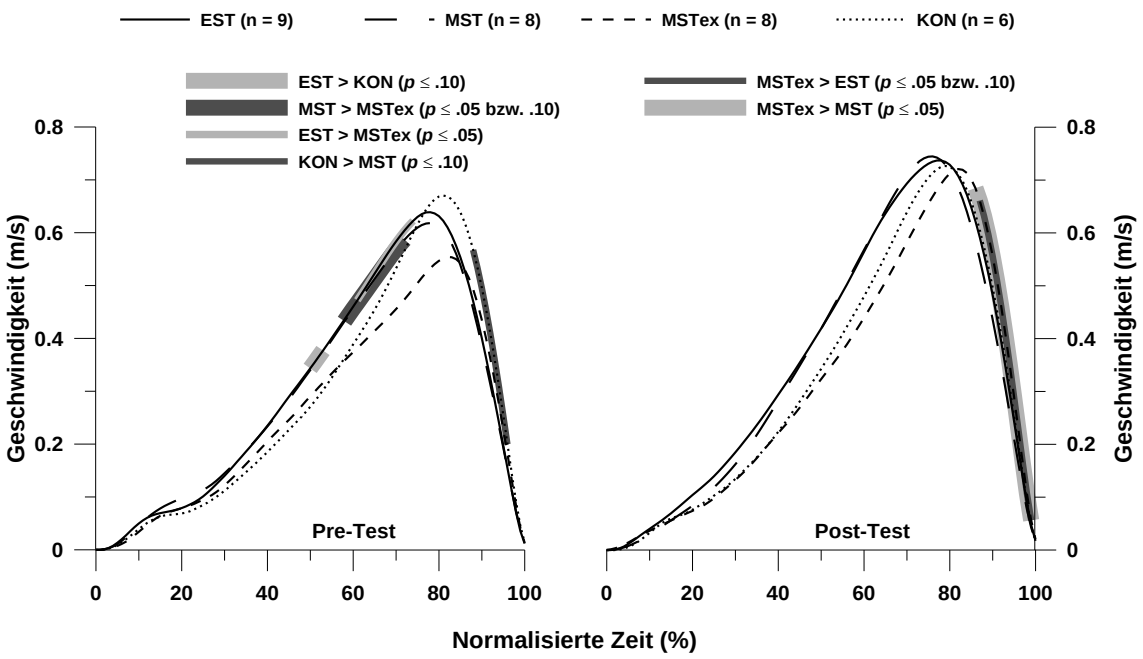

Abbildung 4-32: Vergleichende Geschwindigkeits-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist für die Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM einen bedeutsamen Haupteffekt für den Faktor NormZeit auf (F(2.224, 60.045) = 468.901, p = .000, η^2_p = .946), d.h. die Geschwindigkeitswerte unterscheiden sich im Verlauf der Geschwindigkeits-Zeit-Kurve. Die weiteren Haupt- und Interaktionseffekte sind bedeutungslos.

Eine gruppenspezifische Betrachtung der geschätzten Randmittel im Pre-Post-Vergleich zeigt für die MST tendenziell (8% - 10%) und signifikant (3% - 7%) höhere normalisierte Geschwindigkeitswerte zum ersten Messzeitpunkt. In der MSTex sind zum zweiten Messzeitpunkt zwischen 58% und 76% höhere Geschwindigkeitswerte festzustellen.

Die geschätzten Randmittel offenbaren für den paarweisen Vergleich der Gruppen zum ersten Messzeitpunkt tendenziell bzw. bedeutsam höhere normalisierte Geschwindigkeitswerte der MST im Vergleich zur KON (3% - 9%). Tendenziell höhere Werte sind in der EST (45% - 57%) und MST (46% - 55%) gegenüber der MSTex festzustellen. Zum zweiten Messzeitpunkt zeigt die EST zu Bewegungsbeginn tendenziell bzw. signifikant höhere Geschwindigkeitswerte (2% - 10%) als die KON. Im weiteren Verlauf weist die MSTex höhere normalisierte Geschwindigkeitswerte als die MST auf (tendenziell: 75% - 78%, 86% - 88%; signifikant: 79% - 85%, vgl. Abbildung 4-34).

Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen (F(1, 27) = 0.103, p = .376, η^2_p = .004).

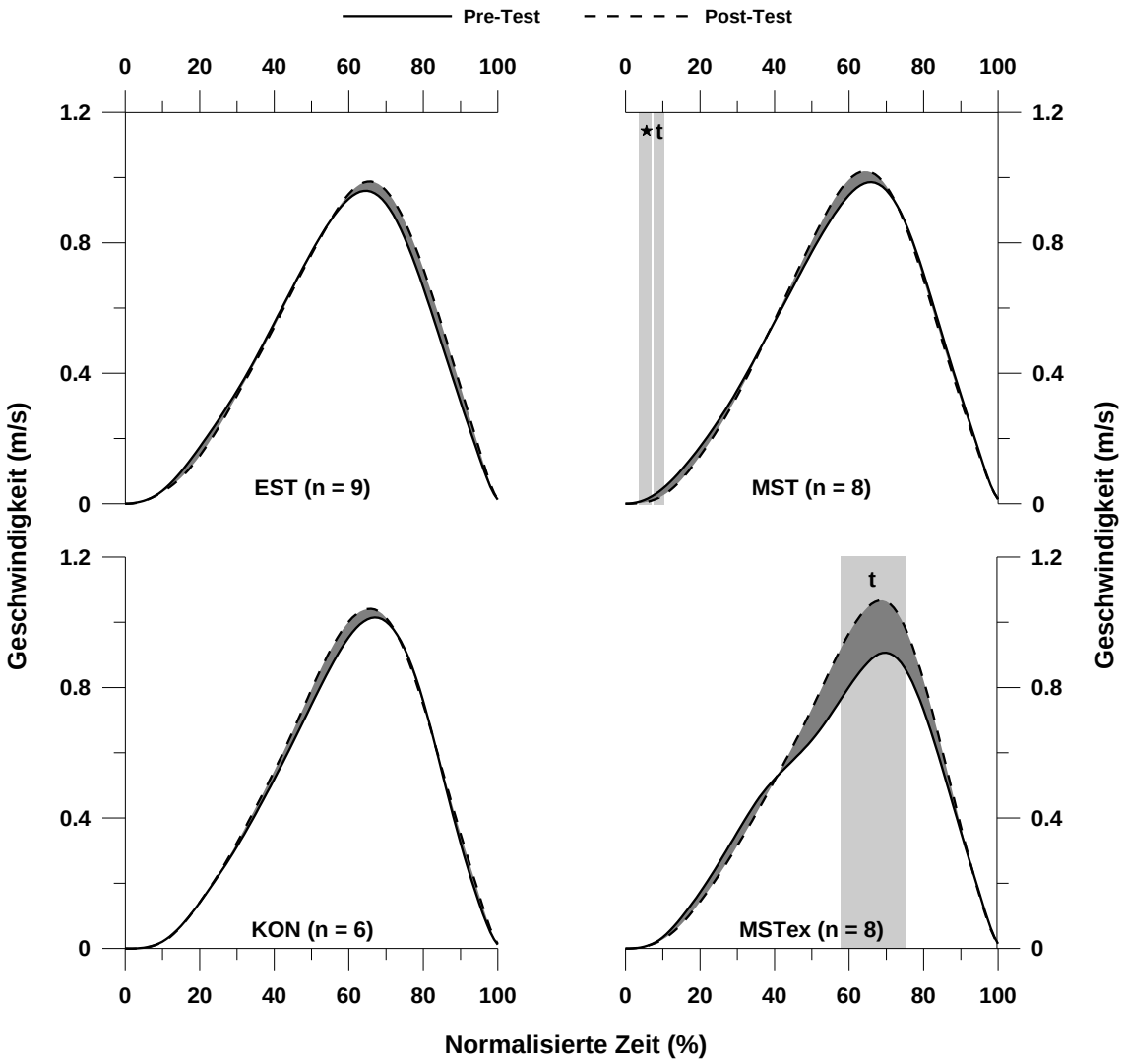

Abbildung 4-33: Normalisierte Geschwindigkeits-Zeit-Kurve der Testübung Beinpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 50% 1 RM (*, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); t, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$)).

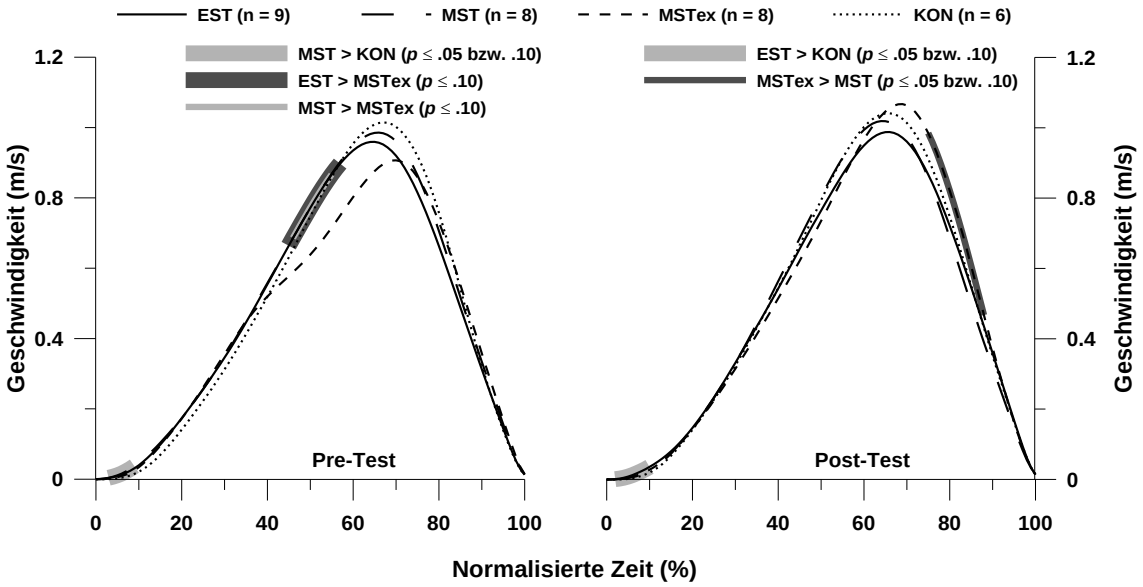

Abbildung 4-34: Vergleichende Geschwindigkeits-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM.

4.5.9 Maximale Geschwindigkeitsentwicklung (RVD_{max})

Bei einer Testlast von 80% 1 RM zeigen alle drei Trainingsgruppen eine deutliche Zunahme der maximalen Geschwindigkeitsentwicklung (RVD_{max}) von 44-55%. Bei 50% 1 RM ist diese deutliche Steigerung nur bei der MST (27%) und MSTex (26%) zu erkennen (vgl. Abbildung 4-35).

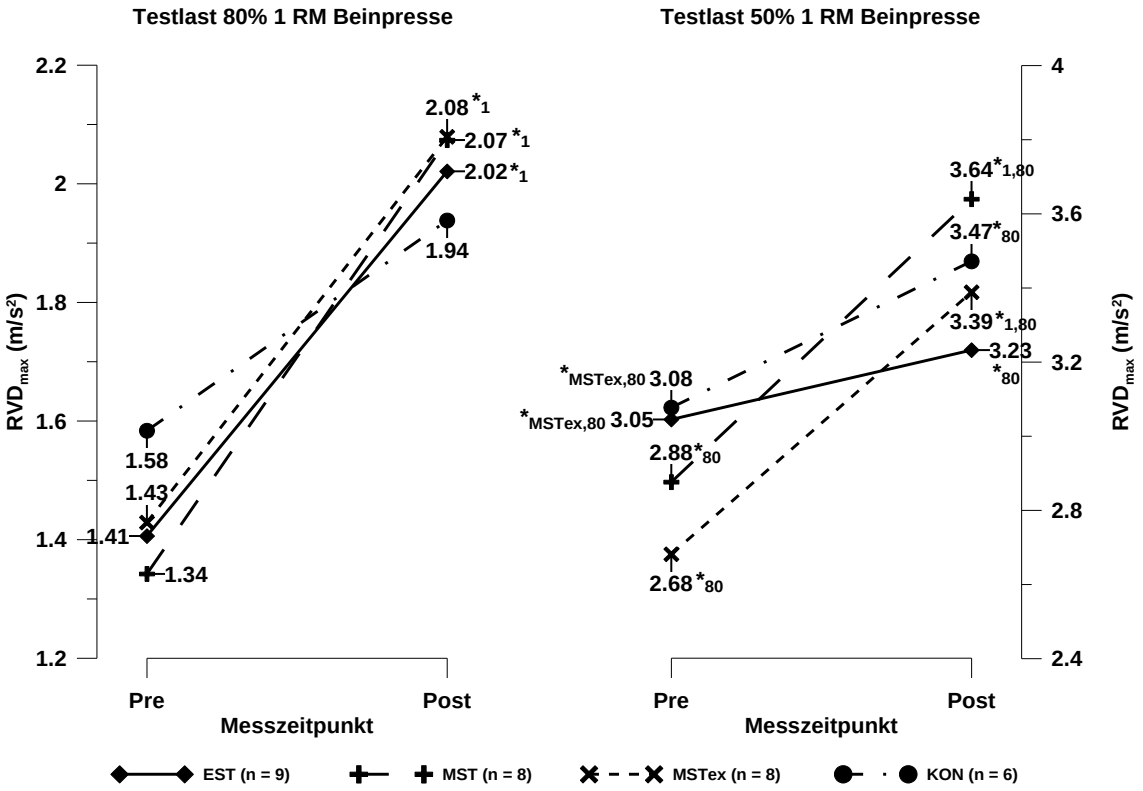

Abbildung 4-35: Veränderungen der Variable maximale Geschwindigkeitsentwicklung (RVD_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test; $*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM; $*_{MSTex}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zur MSTex).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt für die Testübung Beinpresse keine bedeutsamen Zwischensubjekteffekte der RVD_{max}. Innerhalb der Subjekte sind signifikante Effekte für die Faktoren Messzeitpunkt ($F(1, 27) = 22.481$, $p = .000$, $\eta^2_p = .454$) und Testlast ($F(1, 27) = 400.425$, $p = .000$, $\eta^2_p = .937$) zu erkennen. Die Interaktion von Messzeitpunkt*Testlast*Gruppe ist als tendenziell einzustufen ($F(3, 27) = 2.354$, $p = .094$, $\eta^2_p = .207$).

Innerhalb der Gruppen zeigen die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel bei einer Testlast von 80% 1 RM signifikante Zuwächse für die

- EST: 0.62 m/s², *KI*: 0.22 m/s² - 1.02 m/s², $p = .004$,
- MST: 0.73 m/s², *KI*: 0.31 m/s² - 1.16 m/s², $p = .001$ und
- MSTex: 0.65 m/s², *KI*: 0.23 m/s² - 1.07 m/s², $p = .004$.

Bei 50% 1 RM sind bedeutsame Steigerungen der maximalen Geschwindigkeitsentwicklung für die MST (0.76 m/s², *KI*: 0.21 m/s² - 1.31 m/s², $p = .008$) und MSTex (0.71 m/s², *KI*: 0.16 m/s² - 1.66 m/s², $p = .014$) festzustellen (Abbildung 4-35).

Bei einer Testlast von 50% 1 RM ist die RVD_{max} in allen Gruppen zusammen um 1.44 m/s^2 (*KI*: 1.30 m/s^2 - 1.59 $m/s^{2,}$, p = .000) signifikant höher als bei 80% 1 RM. Für beide Testlasten ist über den Untersuchungszeitraum eine bedeutsame Zunahme der RVD_{max} festzustellen:

- 80% 1 RM: 0.59 m/s^2, *KI*: 0.37 m/s^2 - 0.81 m/s^2, p = .000,
- 50% 1 RM: 0.51 m/s^2, *KI*: 0.23 m/s^2 - 0.80 m/s^2, p = .001.

Die tendenzielle Interaktion von Messzeitpunkt*Testlast*Gruppe zeigt sich in höheren Werten der Geschwindigkeitsentwicklung im Vergleich der EST (0.36 m/s^2, *KI*: -0.01 m/s^2 - 0.74 m/s^2, p = .057) und KON (0.40 m/s^2, *KI*: -0.02 m/s^2 - 0.81 m/s^2, p = .062) zur MSTex zum Messzeitpunkt 1 bei 50% 1 RM.

Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 27) = 0.163$, p = .345, η^2_p = .006).

4.5.10 Dauer der konzentrischen Phase (DOCC)

Die Dauer der konzentrischen Phase verringert sich bei einer Testlast von 80% 1 RM in allen vier Gruppen zwischen 12% und 21%. Bei 50% 1 RM zeigt die MSTex die größte Verringerung der DOCC um 13%, wohingegen die EST eine Verlängerung der konzentrischen Phase um 7% aufweist. In der MST und KON nimmt die Bewegungszeit ab (-7% bzw. -5%. vgl. Abbildung 4-36).

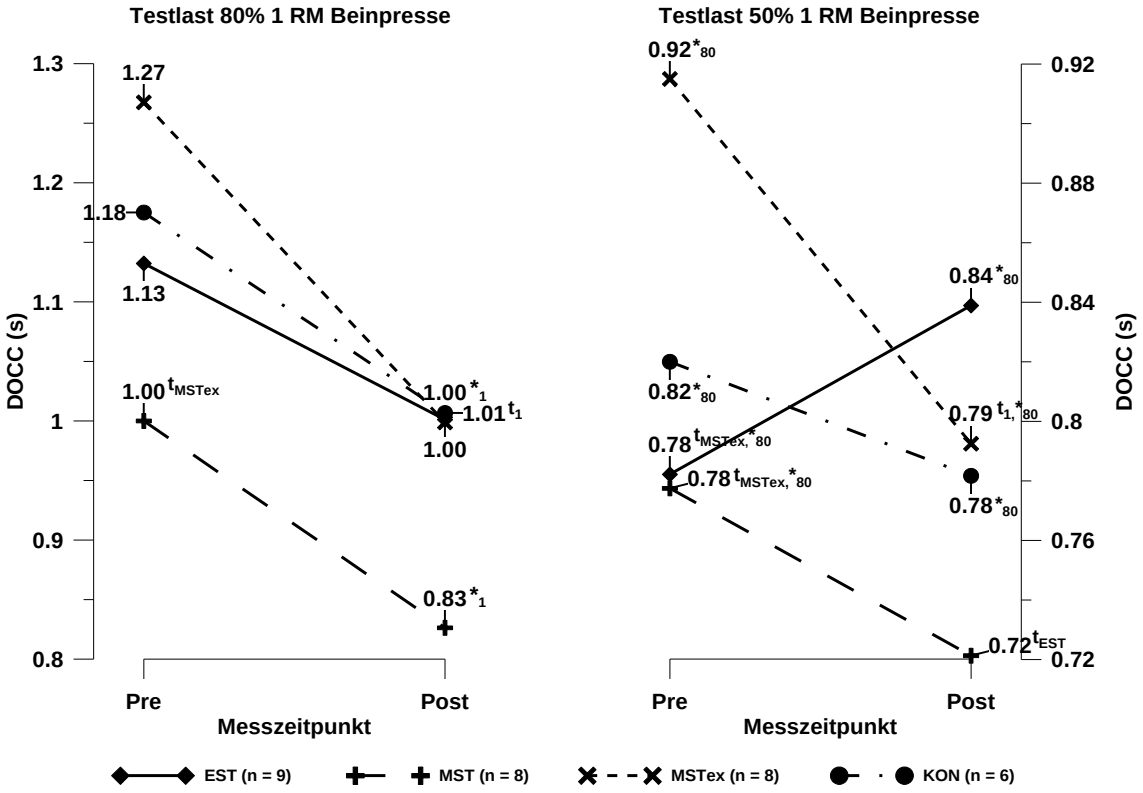

Abbildung 4-36: Veränderungen der Variable Dauer der konzentrischen Phase (DOCC) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test; $*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM; t_1, tendenzieller Unterschied zum Pre-Test ($p \leq .10$); $t_{MSTex\ oder\ EST}$, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) zur MSTex oder EST).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt keine bedeutsamen Zwischensubjekteffekte der DOCC für die Testübung Beinpresse. Innerhalb der Subjekte sind signifikante Effekte für die

Faktoren Messzeitpunkt ($F(1, 27) = 13.096$, $p = .001$, $\eta^2_p = .327$) und Testlast ($F(1, 27) = 96.375$, $p = .000$, $\eta^2_p = .781$) zu erkennen. Die signifikante Interaktion von Messzeitpunkt*Testlast ($F(1, 27) = 16.330$, $p = .000$, $\eta^2_p = .377$) deutet auf Unterschiede in den Veränderungen der DOCC zwischen den Testlasten zu den Messzeitpunkten hin.

Zum ersten Messzeitpunkt ist die Dauer der konzentrischen Phase bei einer Testlast von 50% um -0.33 s (*KI*: -0.38 s - -0.28 s, $p = .000$) signifikant kürzer als bei 80% 1 RM. Dieser signifikante Unterschied ist in allen Gruppen festzustellen und besteht zum zweiten Messzeitpunkt weiterhin (-0.18 s, *KI*: -0.25 s - -0.10 s, $p = .000$). Im Vergleich von Messzeitpunkt 1 zu 2 hat sich die Bewegungszeit für alle Gruppen lediglich bei 80% 1 RM signifikant verringert:

- 80% 1 RM: -0.20 s, *KI*: -0.29 s - -0.11 s, $p = .000$,
- 50% 1 RM: -0.04 s, *KI*: -0.10 s - 0.02 s, $p = .210$.

In der Einzelbetrachtung der Gruppen beschränkt sich die bedeutsame Verringerung der DOCC auf die Gruppen MST und MSTex bei einer Testlast von 80% 1 RM, bei 50% 1 RM ist eine tendenzielle Verringerung in der MSTex festzustellen (Abbildung 4-36).

Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 27) = 0.111$, $p = .371$, $\eta^2_p = .004$).

4.5.11 Zurückgelegter Gesamtweg (d_{max})

Die Betrachtung des zurückgelegten Gesamtweges (d_{max}) zeigt unterschiedliche Entwicklungen (Abbildung 4-37).

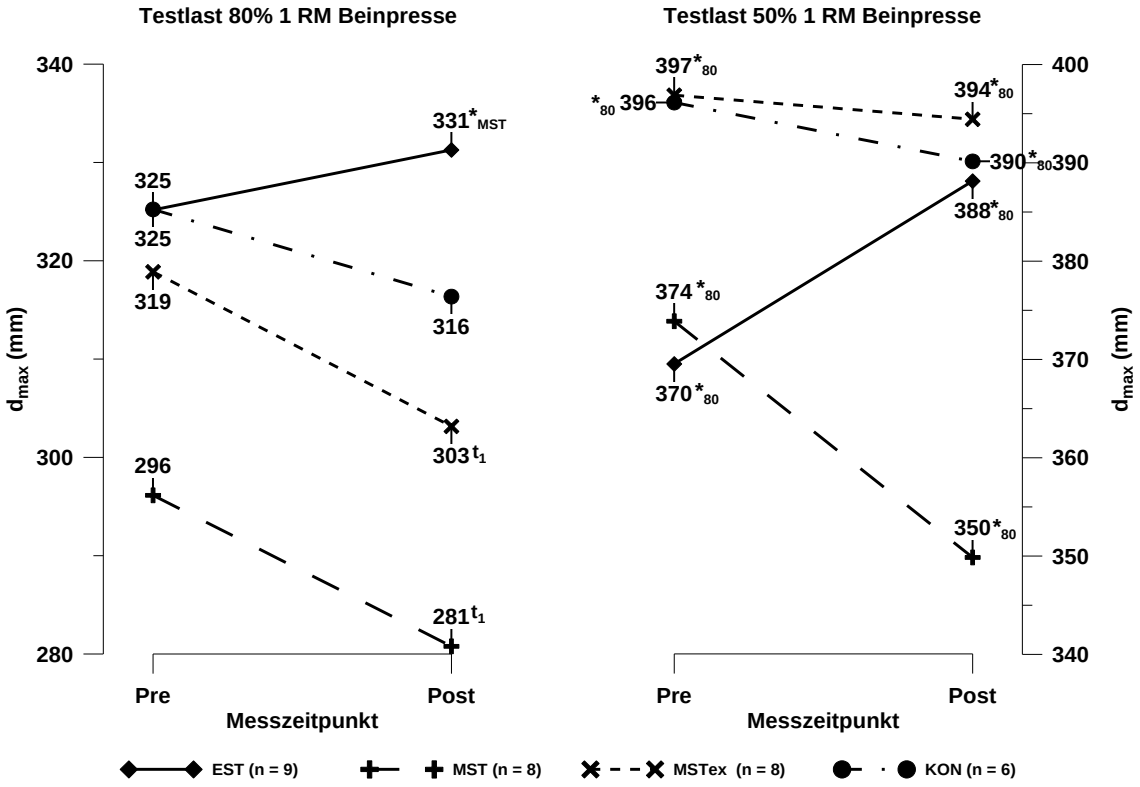

Abbildung 4-37: Veränderungen der Variable zurückgelegter Weg (d_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM; t_1, tendenzieller Unterschied zum Pre-Test ($p \leq .10$); $*_{MST}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zur MST).

Bei einer Testlast von 80% verringert sich der d_{max} in der MST, MSTex und KON (-3% bis -5%), in der EST verlängert er sich um 2%. Für eine Testlast von 50% 1 RM weisen die Gruppen MSTex und KON marginale Veränderungen auf (-1% bis -2%), wohingegen der zurückgelegte Gesamtweg in der MST um 6% ab und in der EST um 5% zunimmt. Die Varianzanalyse zeigt mit Ausnahme der Testlast ($F(1, 27) = 165.778$, $p = .000$, $\eta^2_p = .860$) durchgehend unbedeutende Effekte. Bei einer Testlast von 50% 1 RM ist der zurückgelegte Gesamtweg im Vergleich zu 80% 1 RM um 70.26 mm (*KI*: 59.06 mm - 81.50 mm) länger. Zwischen den Messzeitpunkten kommt es zu keiner Veränderung des zurückgelegten Weges.

Zum ersten und zweiten Messzeitpunkt ist der zurückgelegte Gesamtweg bei 50% 1 RM um 67.76 mm (*KI*: 56.05 mm - 79.48 mm, $p = .000$) bzw. 72.76 mm (*KI*: 58.36 mm - 87.15 mm, $p = .000$) signifikant länger als bei 80% 1 RM. Dieser signifikante Unterschied ist in allen Gruppen zu beiden Messzeitpunkten festzustellen. In der Einzelbetrachtung innerhalb der Gruppen zeigt sich eine tendenzielle Verringerung des d_{max} bei einer Testlast von 80% 1 RM in den Gruppen MST (15.36 mm, *KI*: -32.89 mm - 2.17 mm, $p = .083$) und MSTex (15.72 mm, *KI*: -33.25 mm - 1.81 mm, $p = .077$). Darüber hinaus weist zum zweiten Messzeitpunkt der Vergleich zwischen den Gruppen einen längeren zurückgelegten Weg bei 80% 1 RM für die EST im Vergleich zur MST (50.50 mm, *KI*: 4.26 mm - 96.73 mm, $p = .033$) auf (Abbildung 4-37). Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 27) = 0.315$, $p = .290$, $\eta^2_p = .012$).

4.5.12 Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung (F_{Pmax})

Abbildung 4-38 zeigt die Veränderungen der Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung (F_{Pmax}).

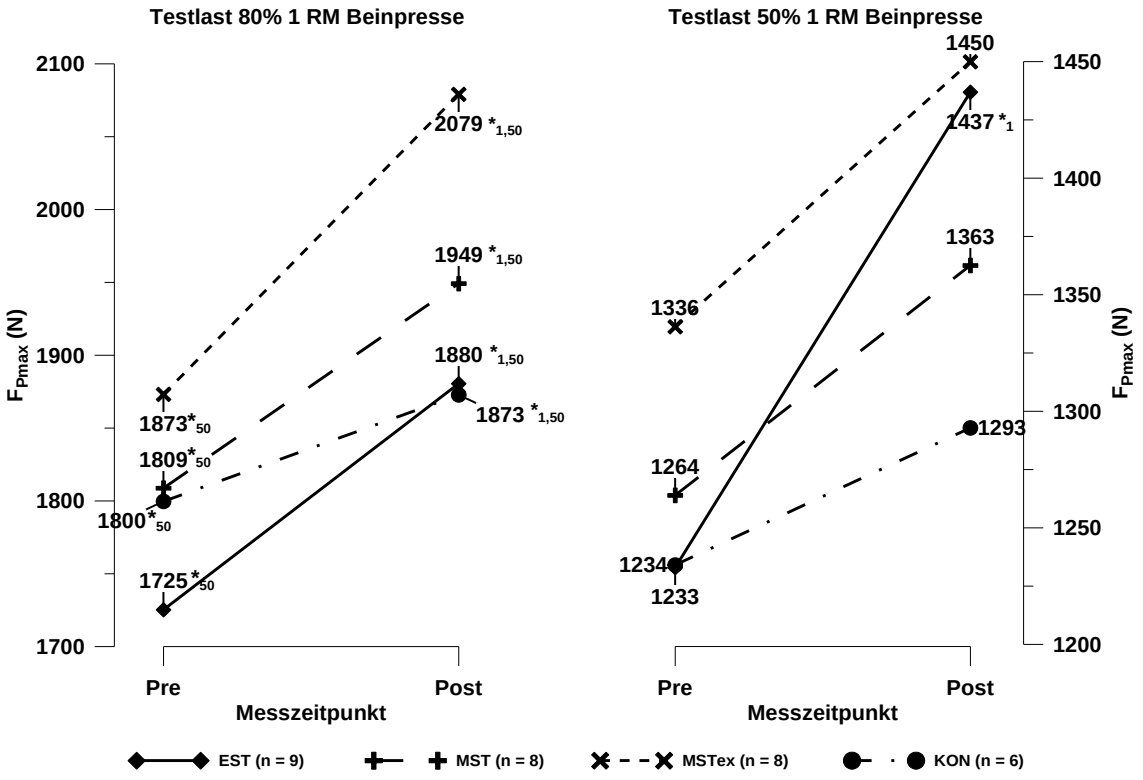

Abbildung 4-38: Veränderungen der Variable Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung (F_{Pmax}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_{50}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 50% 1 RM; $*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zur Pre-Test).

Auffällig ist die durchgehende Zunahme der EST bei 80% (9%) und 50% (30%). Die KON zeigt ebenfalls eine leichte Zunahme der F_{Pmax} (4%). wohingegen die MST und MSTex im Vergleich von 80% und 50% 1 RM jeweils gegenläufige Veränderungen im Rahmen von -3% bis 11% aufweisen. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt einen unbedeutenden Zwischensubjekteffekt für den Faktor Gruppe. Die Innersubjektfaktoren zeigen signifikante Effekte des Faktors Messzeitpunkt ($F(1, 27) = 44.805$, $p \leq .000$, $\eta^2_p = .624$) und Testlast ($F(1, 27) = 739.277$, $p = .000$, $\eta^2_p = .965$). Sowohl zum ersten (535.09 N, *KI*: 493.30 N - 576.88 N, $p = .000$) als auch zum zweiten Messzeitpunkt (559.82 N, *KI*: 493.55 N - 626.09 N, $p = .000$) ist die F_{Pmax} bei 80% 1 RM signifikant höher als bei 50% 1 RM. Bei der weitergehenden Betrachtung der geschätzten Randmittel nimmt die F_{Pmax} für alle Gruppen bei einer Testlast von 80% zu:

- EST: 155.16 N, *KI*: 101.37 N - 208.94 N, $p = .000$,
- MST: 140.43 N, *KI*: 83.38 N - 197.48 N, $p = .000$,
- MSTex: 206.00 N, *KI*: 148.95 N - 263.05 N, $p = .000$,
- KON: 73.103 N, *KI*: 7.23 N - 138.98 N, $p = .031$.

Bei 50% 1 RM zeigt die EST eine signifikante Zunahme der F_{Pmax} (203.95 N, *KI*: 72.81 N - 335.09 N, $p = .004$). Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(3, 27) = 0.329$, $p = .403$, $\eta^2_p = .035$).

4.5.13 Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax})

Die Betrachtung der Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}) lässt unterschiedliche Anpassungen zwischen den Testlasten erkennen (vgl. Abbildung 4-39).

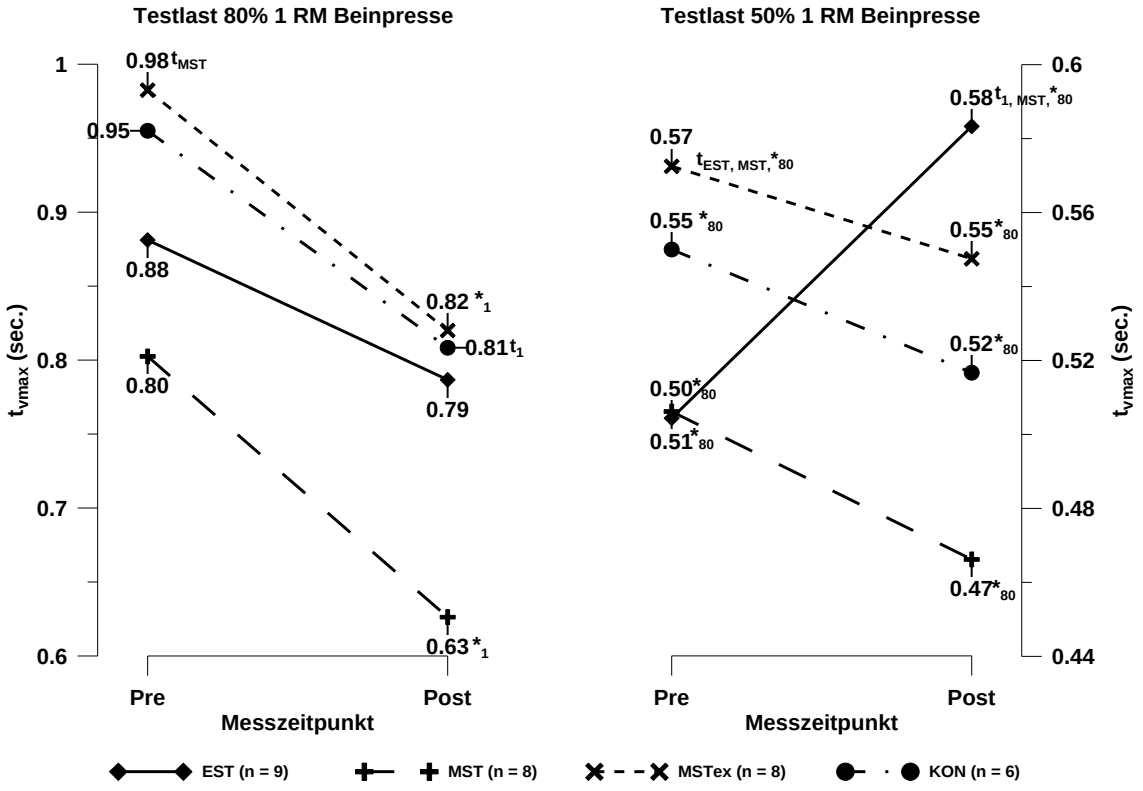

Abbildung 4-39: Veränderungen der Variable Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM; $*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test; t_1, tendenzieller Unterschied zum Pre-Test ($p \leq .10$); $t_{EST, bzw. MST}$, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) zur EST bzw. MST).

Bei einer Testlast von 80% 1 RM verringert sich die Zeit bis t_{vmax} um 11-22% in allen Gruppen. Bei 50% 1 RM ist die t_{vmax} mit Ausnahme der EST (Zunahme um 16%) um 4% bis 8% verringert.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt keine bedeutsamen Zwischensubjekteffekte für die Testübung Beinpresse. Innerhalb der Subjekte sind signifikante Haupteffekte für die Faktoren Messzeitpunkt ($F(1, 27) = 9.150$, $p = .005$, $\eta^2_p = .253$) und Testlast ($F(1, 27) = 143.918$, $p = .000$, $\eta^2_p = .842$) auf die abhängige Variable t_{vmax} zu erkennen. Die bedeutsame Interaktion der Haupteffekte Messzeitpunkt*Testlast ($F(1, 27) = 12.670$, $p = .001$, $\eta^2_p = .319$) deutet auf Unterschiede in den Veränderungen der Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit zwischen den Testlasten zu den Messzeitpunkten hin.

Zum ersten Messzeitpunkt ist die t_{vmax} bei einer Testlast von 50% um -0.37 sec. (*KI*: -0.42 sec. bis -0.32 sec., $p = .000$) signifikant schneller erreicht als bei 80% 1 RM. Dieser signifikante Unterschied besteht zum zweiten Messzeitpunkt weiterhin (-0.23 sec., *KI*: -0.31 sec. bis -0.15 sec., $p = .000$). Der signifikante Unterschied ist weiterhin in allen Gruppen zu beiden Messzeitpunkten festzustellen. Im Vergleich von Messzeitpunkt 1 zu 2 ist die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit bei einer Testlast von 80% 1 RM signifikant verringert (-0.15 sec., *KI*: -0.22 sec. bis -0.07 sec., $p = .000$), wohingegen bei 50% 1 RM keine Veränderung festzustellen ist (-0.01 sec., *KI*: -0.05 sec. - 0.04 sec., $p = .837$). In der Einzelbetrachtung der Gruppen beschränkt sich der Verringerung der t_{vmax} auf die Testlast von 80% 1 RM auf die MST (-0.18 sec., *KI*: -0.33 sec. -bis -0.02 sec., $p = .025$), MSTex (-0.16 sec., *KI*: -0.32 sec. bis - 0.01 sec., $p = .038$) und KON (-0.15 sec., *KI*: -0.323 sec. - .01 sec., $p = .099$). Bei 50% 1 RM ist ein tendenzieller Anstieg in der EST festzustellen (0.08 sec., *KI*: -0.01 sec. - 0.17 sec., $p = 077$). Gruppenunterschiede sind zum ersten Messzeitpunkt bei 80% bzw. 50% 1 RM mit einer längeren t_{vmax} der MSTex zur MST (0.18 sec., *KI*: 0.00 sec. - 0.36 sec., $p = .050$) bzw. zur EST (0.07 sec., *KI*: -0.01 sec. - 0.14 sec., $p = .075$) und MST (0.07 sec., *KI*: -0.01 sec. - 0.14 sec., $p = .091$) festzustellen. Zum zweiten Messzeitpunkt weist die EST bei 50% 1 RM eine längere t_{vmax} als die MST auf (0.12 sec., *KI*: -0.02 sec. - 0.26 sec., $p = .095$). Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 27) = 0.369$, $p = .275$, $\eta^2_p = .013$).

4.5.14 Hypothesenbesprechung und Diskussion

Tabelle 4-12 fasst die Ergebnisse der Messwiederholung für die Variablen der muskulären Leistung kurz zusammen. Die Messwiederholung zeigt keine bedeutenden Effekte des Zwischensubjektfaktors Gruppe. Der Messzeitpunkt hat mit Ausnahme des zurückgelegten Wegs (d_{max}) einen signifikanten Einfluss auf die Variablen der muskulären Leistung.

Der Innersubjektfaktor Testlast weist für alle Variablen einen statistisch bedeutenden Einfluss auf. Kraftabhängige Variablen (F_{max}, RFD_{max}, F_{Pmax}) offenbaren höhere Werte bei einer Testlast von 80% 1 RM, wohingegen geschwindigkeits-, weg- und zeitabhängige Variablen höhere, längere bzw. kürzere Werte bei einer Testlast von 50% 1 RM aufweisen. Die signifikante Interaktion von Messzeitpunkt*Last zeigt, dass lastspezifische Effekte bei einer Testlast von 80% in allen drei Trainingsgruppen für die Variablen P_{max}, RPD_{max}, v_{max}, DOCC und t_{vmax} aufgetreten sind (Tabelle 4-13). Betrachtet man die Spannungshöhe in Tabelle 4-4, so erklärt sich neben der MST und MSTex die testlastspezifische Anpassung der EST, in der die Trainingslast ca. 70% des 1 RM betrug. Die a priori definierten Kontraste offenbaren keine statistisch bedeutsamen Unterschiede der Trainingsgruppen gegenüber der Kontrollgruppe.

Tabelle 4-12: Ergebniszusammenfassung der Messwiederholung der Testübung Beinpresse für die Variablen der muskulären Leistung.

Maß	Zwischen-subjekteffekte	Innersubjekteffekte						a priori Kontraste[1)]
	Gruppe	Mess	Mess* Gruppe	Last	Last* Gruppe	Mess* Last	Mess*Last* Gruppe	
F_{max}	ns	≤ .001	ns	≤ .001	≤ .10	ns	ns	ns
RFD_{max}	ns	≤ .05	ns	≤ .001	ns	ns	ns	ns
P_{max}	ns	≤ .001	ns	≤ .001	ns	≤ .001	≤ .10	ns
RPD_{max}	ns	≤ .001	ns	≤ .001	ns	≤ .05	ns	ns
v_{max}	ns	≤ .001	ns	≤ .001	ns	≤ .01	ns	ns
RVD_{max}	ns	≤ .001	ns	≤ .001	ns	ns	≤ .10	ns
DOCC	ns	≤ .001	ns	≤ .001	ns	≤ .01	ns	ns
d_{max}	ns	ns	ns	≤ .001	ns	ns	ns	ns
F_{Pmax}	ns	≤ .001	ns	≤ .001	ns	ns	ns	ns
t_{vmax}	ns	≤ .01	ns	≤ .001	ns	≤ .001	ns	ns

[1)], EST, MST, MSTex vs. KON; ≤ …, *p*-Wert; Last, Testlast; Mess, Messzeitpunkt; ns, nicht signifikant.

Tabelle 4-13 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Veränderungen der Variablen der muskulären Leistung in der Testübung Beinpresse. Der Gruppenvergleich zu den einzelnen Messzeitpunkten stellt die Ergebnisse aus der Sicht der Verbesserungen dar; auf die redundante Darstellung der Verschlechterungen wird verzichtet.

Zwischen den Messzeitpunkten zeigen die drei Trainingsgruppen sowie die Kontrollgruppe signifikante Verbesserungen der F_{max} bei 80% 1 RM, wohingegen die EST als einzige Gruppe eine signifikante Zunahme der maximalen Kraft bei 50% 1 RM aufweist. Die maximale Kraftentwicklung offenbart über den Untersuchungszeitraum keine Veränderungen, wohingegen die P_{max} in allen vier Gruppen und beiden Testlasten statistisch bedeutsam zunimmt.

Die RPD_{max}, v_{max} und RVD_{max} zeigen die gleichen Entwicklung auf: sie nehmen in allen drei Trainingsgruppen bei 80% 1 RM signifikant zu, bei einer Testlast von 50% zeigen die MST und MSTex statistisch bedeutsame Steigerungen. Die DOCC bei 80% 1 RM verringert sich in der MST und MSTex signifikant, in der KON tendenziell. Eine tendenzielle Abnahme zeigt sich ebenfalls bei 50% 1 RM in der MSTex. Tendenzielle Verringerungen des zurückgelegten Weges (d_{max}) weisen die MST und MSTex bei 80% 1 RM auf. Die F_{Pmax} nimmt in allen vier Gruppen bei einer Testlast von 80% signifikant zu, die EST zeigt bei 50% ebenfalls eine signifikante Zunahme. Die t_{vmax} verringert sich in der MST und MSTex bei 80% 1 RM statistisch bedeutsam, die KON zeigt eine tendenzielle Abnahme. Bei 50% 1 RM ist in der EST eine tendenzielle Verringerung zu erkennen.

Zum ersten Messzeitpunkt sind vereinzelte tendenzielle Unterschiede zwischen den Gruppen zu erkennen, lediglich die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}) der MSTex im Vergleich zu MST ist bei einer Testlast von 80% 1 RM signifikant erhöht. Für den zweiten Messzeitpunkt weist die EST im Vergleich zur MSTex einen statistisch bedeutsamen längeren zurückgelegten Weg (d_{max}) bei 80% 1 RM auf.

Zwischen den Testlasten zeigen sich mit Ausnahme der zeitbezogenen Variablen und der P_{max} überwiegend höhere Werte bei einer Testlast von 80% 1 RM im Vergleich zu 50% 1 RM. Die maximale Leistung ist zum ersten Messzeitpunkt in den Gruppen MST und MSTex bei 50% 1 RM gegenüber 80% 1 RM signifikant höher, zum zweiten Messzeitpunkt zeigt sich dies lediglich für die MST.

Die Überprüfung der muskulären Leistung in der Testübung Beinpresse erfolgt auf der Basis von drei Hypothesen:

$H_1$5: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit intendiert-explosiver (MSTex) Bewegungsausführung führt zu höheren Schnellkraftwerten als ein Krafttraining mit a) kontrolliert-zügiger (MST) und b) langsamer (EST) Bewegungsausführung.

$H_1$6: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) kontrolliert-zügiger (MST) und b) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt zu gleich hohen Schnellkraftwerten.

$H_1$7: Im Anschluss an ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung zeigen die jeweiligen Trainingsgruppen gegenüber einer nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe höhere Schnellkraftwerte.

zu $H_1$5:

Die $H_1$5 ist in der Testübung Beinpresse für alle Variablen der muskulären Leistung zu verwerfen und die $H_0$5 beizubehalten. Ein 6-wöchiges Krafttraining mit intendiert-explosiver (MSTex) Bewegungsausführung führt zu gleichen Schnellkraftwerten gegenüber einem Krafttraining mit a) kontrolliert-zügiger (MST) und b) langsamer (EST) Bewegungsausführung.

zu $H_1$6:

Die $H_1$6 ist mit Ausnahme des d_{max} zum zweiten Messzeitpunkt bei einer Testlast von 80% 1 RM anzunehmen. Unter Berücksichtigung der genannten Ausnahme zeigen alle weiteren Variablen der Schnellkraft keine Unterschiede zwischen der MST und EST. Für den d_{max} zum zweiten Messzeitpunkt bei einer Testlast 80% 1 RM ist die $H_0$6 beizubehalten.

zu $H_1$7:

Die $H_1$7 ist für alle getesteten Schnellkraftvariablen abzulehnen und die $H_0$7 beizubehalten. Es zeigen sich keine Unterschiede der drei Trainingsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Tabelle 4-13: Zusammenfassender Überblick der Veränderungen der Variablen der muskulären Leistung für die Testübung Beinpresse bei den Testlasten 80% und 50% 1 RM.

Maß	Unterschiede innerhalb der Gruppen zwischen Messzeitpunkt 1 und 2				Messzeitpunkt 1 zwischen den Gruppen				Messzeitpunkt 2 zwischen den Gruppen				mittlere Differenzen innerhalb der Gruppen zwischen Testlast 80% und 50% 1 RM
	EST	MST	MSTex	KON	EST	MST	MSTex	KON	EST	MST	MSTex	KON	
F_{max} 80%	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	↑ ≤ .05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	T1 und T2: 80% 1 RM ↑ ≤ .001 als 50% 1 RM
F_{max} 50%	↑ ≤ .05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
RFD_{max} 80%	ns	ns	ns	ns	ns	↑ KON ≤ .10	ns	ns	ns	ns	ns	ns	T1 und T2: 80% 1 RM ↑ ≤ .001 als 50% 1 RM
RFD_{max} 50%	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
P_{max} 80%	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	T1: 50% 1 RM MST ↑ ≤ .05, MSTex ↑ ≤ .01 T2: 50% 1 RM MST ↑ ≤ .05
P_{max} 50%	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
RPD_{max} 80%	↑ ≤ .01	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	T1 und T2: 50% 1 RM ↑ ≤ .001 als 80% 1 RM
RPD_{max} 50%	ns	↑ ≤ .01	↑ ≤ .01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
v_{max} 80%	↑ ≤ .01	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	T1 und T2: 50% 1 RM ↑ ≤ .001 als 80% 1 RM
v_{max} 50%	ns	↑ ≤ .01	↑ ≤ .05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
RVD_{max} 80%	↑ ≤ .01	↑ ≤ .001	↑ ≤ .01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	T1 und T2: 50% 1 RM ↑ ≤ .001 als 80% 1 RM
RVD_{max} 50%	ns	↑ ≤ .01	↑ ≤ .05	ns	↑ MSTex ≤ .10	ns	ns	↑ MSTex ≤ .10	ns	ns	ns	ns	
DOCC 80%	ns	↓ ≤ .05	↓ ≤ .01	↓ ≤ .10	ns	↓ MSTex ≤ .10	ns	ns	ns	ns	ns	ns	T1: 50% 1 RM ↓ ≤ .001; T2: 50% 1 RM EST, KON ↓ ≤ .05, MSTex ↓ ≤ .01
DOCC 50%	ns	ns	↓ ≤ .10	ns	↓ MSTex ≤ .10	↓ MSTex ≤ .10	ns	ns	ns	↓ EST ≤ .10	ns	ns	
d_{max} 80%	ns	↓ ≤ .10	↓ ≤ .10	ns	ns	ns	ns	ns	↑ MST ≤ .05	ns	ns	ns	T1 und T2: 50% 1 RM ↑ ≤ .001 als 80% 1 RM
d_{max} 50%	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
F_{Pmax} 80%	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	↑ ≤ .001	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	T1 und T2: 80% 1 RM ↑ ≤ .001 als 50% 1 RM
F_{Pmax} 50%	↑ ≤ .01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
t_{vmax} 80%	ns	↓ ≤ .05	↓ ≤ .05	↓ ≤ .10	ns	ns	↑ MST ≤ .05	ns	ns	ns	ns	ns	T1 und T2: 50% 1 RM ↓ ≤ .001 als 80% 1 RM
t_{vmax} 50%	↓ ≤ .10	ns	ns	ns	ns	ns	↑ EST, MST ≤ .10	ns	↑ MST ≤ .10	ns	ns	ns	

F_{max}, maximale Kraft; RFD_{max}, maximale momentane Kraftentwicklung; P_{max}, maximale Leistung; RPD_{max}, maximale momentane Leistungsentwicklung; v_{max}, maximale Geschwindigkeit; RVD_{max}, maximale Beschleunigung; DOCC, Dauer der konzentrischen Phase; dmax, zurückgelegter Gesamtweg; F_{Pmax}, Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung; T1, Messzeitpunkt 1; T2, Messzeitpunkt 2; t_{vmax}, Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit; ↑, Zunahme und *p*-Wert; ↓, Abnahme und *p*-Wert; ns, nicht signifikant.

Bei der Testübung Beinpresse in allen drei Gruppen eine Zunahme der Maximalkraft festzustellen, wobei fehlende Gruppenunterschiede für ähnliche morphologische Anpassungserscheinungen sprechen. Die höheren Effekte des 1 RM der MST und MSTex im Vergleich zur isometrischen Maximalkraft sprechen für größere neuronale Adaptationen dieser beiden Belastungsprotokolle. Mögliche Faserverschiebungen zum Typ MHC IIx sind auf Basis der Belastungsprotokolle und den Befunden in der Literatur für alle Trainingsgruppen auszuschließen (Andersen & Aagaard, 2000; Folland & Williams, 2007; Harridge, 2007) und bei der Interpretation der Variablen der muskulären Leistung zu berücksichtigen.

Für die Testübung Beinpresse sind bei einer Testlast von 80% 1 RM mit Ausnahme der zeitabhängigen Variablen (DOCC, t_{vmax}) keine statistisch unterschiedlichen Entwicklungen der Variablen der muskulären Leistung innerhalb der einzelnen Gruppen festzustellen. Sowohl eine kontrolliert-langsame als auch kontrolliert-zügige und intendiert-explosive Bewegungsausführung führt zu statistisch bedeutsamen Verbesserungen der Kraft- (F_{max}, F_{Pmax}) und Geschwindigkeitskomponenten (P_{max}, RPD_{max}, v_{max}, RVD_{max}).

Veränderungen in der F_{Pmax} können auf eine Veränderung der Kraft-Leistungs-Verhältnisse hindeuten (Cormie et al., 2008). Hier zeigt sich in allen Trainingsgruppen und in der Kontrollgruppe bei 80% 1 RM (Abbildung 4-38) ein signifikant höherer Kraftwert, d.h. die maximale Leistung wird neben einer höheren v_{max} und somit RVD_{max} ebenfalls über eine höhere F_{max} erbracht. Betrachtet man die Veränderungen der RPD_{max}, RVD_{max} und F_{Pmax} zusammen, so scheinen allen drei Belastungsprotokolle - unabhängig von der Bewegungsausführung - zu einer lastspezifischen Verbesserung des Geschwindigkeitsanteils der muskulären Leistung geführt zu haben. Hierfür sind verschiedene neuronale Adaptationen verantwortlich (Abbildung 2-41; Sale, 2003). Die Verkürzung der Dauer der konzentrischen Phase (DOCC) weist, solange sich der zurückgelegte Weg (d_{max}) nicht verkürzt, auf einen Schnellkraftverbesserung hin: die gleiche Strecke wird in kürzerer Zeit zurückgelegt. Die DOCC nimmt bei einer Testlast von 80% 1 RM sowohl in der MST als auch der MSTex signifikant ab (Abbildung 4-36). Betrachtet man den d_{max}, so zeigt sich auch hier eine tendenzielle Reduktion (Abbildung 4-37), d.h. die Verkürzung der DOCC wird zum Teil über eine Reduktion des d_{max} erreicht. Unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge, kann die signifikante Reduktion der DOCC dennoch als positive Veränderung der muskulären Leistung in den Gruppen MST und MSTex betrachtet werden. Hierbei zeigt sich in der MSTex ein tendenzieller Übertrag der lastspezifischen Adaptationen auf die Testlast von 50% 1 RM. Untermauert werden die lastspezifischen neuronalen Adaptationen durch die signifikante Verkürzung der Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}, Abbildung 4-39) in der MST und MSTex.

Neben den trainingslastspezifischen Verbesserungen in allen Trainingsgruppen ist in der MST und MSTex ein Übertrag der geschwindigkeitsabhängigen Variablen (P_{max}, RPD_{max}, v_{max}, RVD_{max}) auf die unspezifische Testlast von 50% 1 RM zu erkennen (Abbildung 4-25, Abbildung 4-35). Diese Beobachtung kann als größere neuronale Adaptation der MST und MSTex betrachtet werden. Die geschwindigkeits- und zeitabhängigen Variablen weisen sehr hohe Effekte bei einer Testlast von 80% auf, die deutlich größer sind als bei einer Testlast von 50% 1 RM (Abbildung 4-40, Abbildung 4-41). Aus dem Betrachtungswinkel der praktischen Bedeutsamkeit kann von einer höheren lastspezifischen Anpassung gesprochen werden, die aufgrund der hohen Spannungshöhe der EST (vgl. Tabelle 4-4) alle drei Trainingsgruppen betrifft.

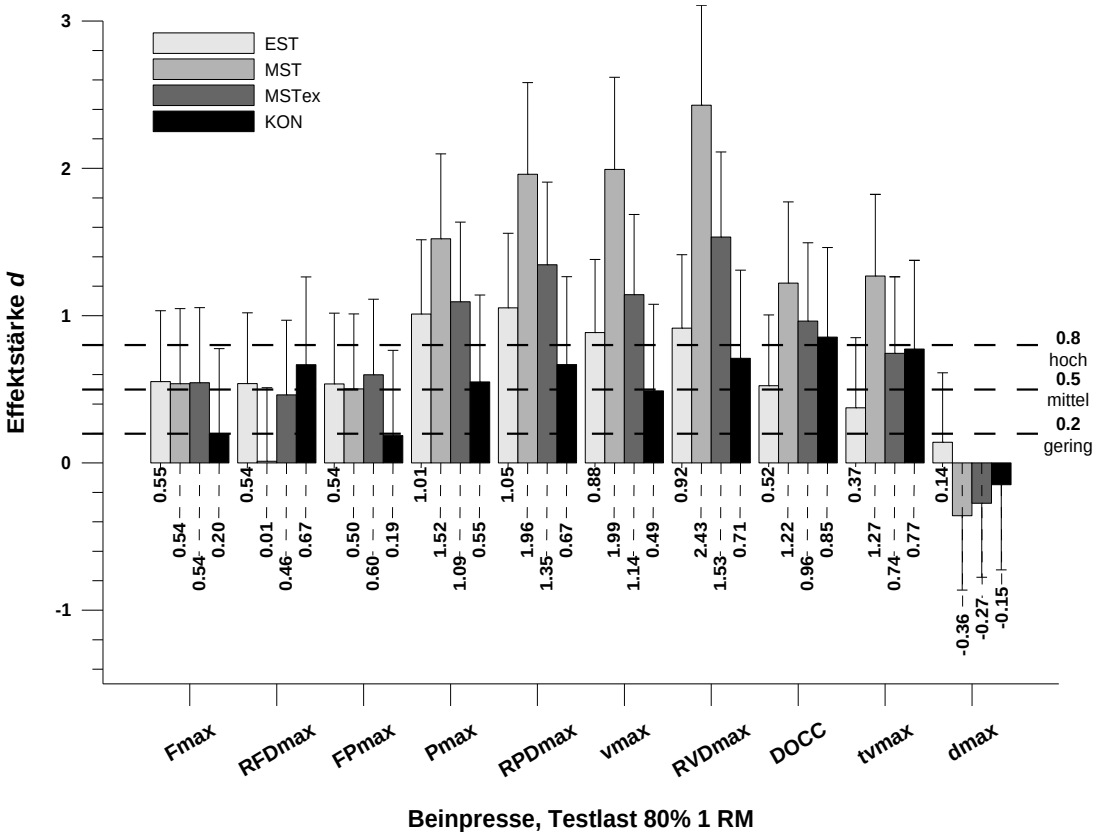

Abbildung 4-40: Klassische Effektstärke *d* der Variablen der muskulären Leistung der Testübung Beinpresse in den Trainingsgruppen und in der Kontrollgruppe bei einer Testlast von 80% 1 RM (vertikale Balken stellen das 95% Konfidenzintervall dar, die horizontalen Linien markieren die unterschiedliche Bedeutsamkeit der Effekte).

Auffällig sind die signifikanten Verbesserungen der F_{max} und P_{max} der EST bei 50% 1 RM. Hier scheint die langsame Bewegungsausführung die Kraftkomponente der muskulären Leistung bei der unspezifischen Testlast verbessert zu haben. Crewther et al. (2005, p. 980) diskutieren in diesem Zusammenhang die größere Beanspruchung des kontraktilen Apparats durch eine langsame konzentrische Bewegungsausführung, die ebenfalls zu einer Ausschaltung der elastischen und kontraktilen Vorteile des Dehnungs-Verkürzung-Zyklus führt. Die Vermutungen konnten von Mester et al. (2010) bestätigt werden.

Bei der Betrachtung der Abbildung 4-40 und Abbildung 4-41 fallen die zum Teil mittleren bis hohen Effekte der Kontrollgruppe ins Auge. Diese können auf die körperlichen Belastungen, die im Rahmen des Sportstudiums durch das laufende Semester auftreten, zurückgeführt werden. Im Vergleich zur Oberkörpermuskulatur fallen diese aufgrund der anzunehmenden höheren Belastung der unteren Extremitäten im Studium größer aus.

Wie auch schon bei der Testübung Brustpresse erwähnt, ist eine Einordnung in die Literatur aufgrund unterschiedlicher Testübungen und Testlasten sowie Unterschieden in der Definition der Variablen der muskulären Leistung erschwert. Im Folgenden werden die vergleichbaren Studien vorgestellt, bezüglich detaillierter Studieninformationen und Belastungskonfigurationen der herangezogenen Studien sei auf das Kapitel 2.1 verwiesen.

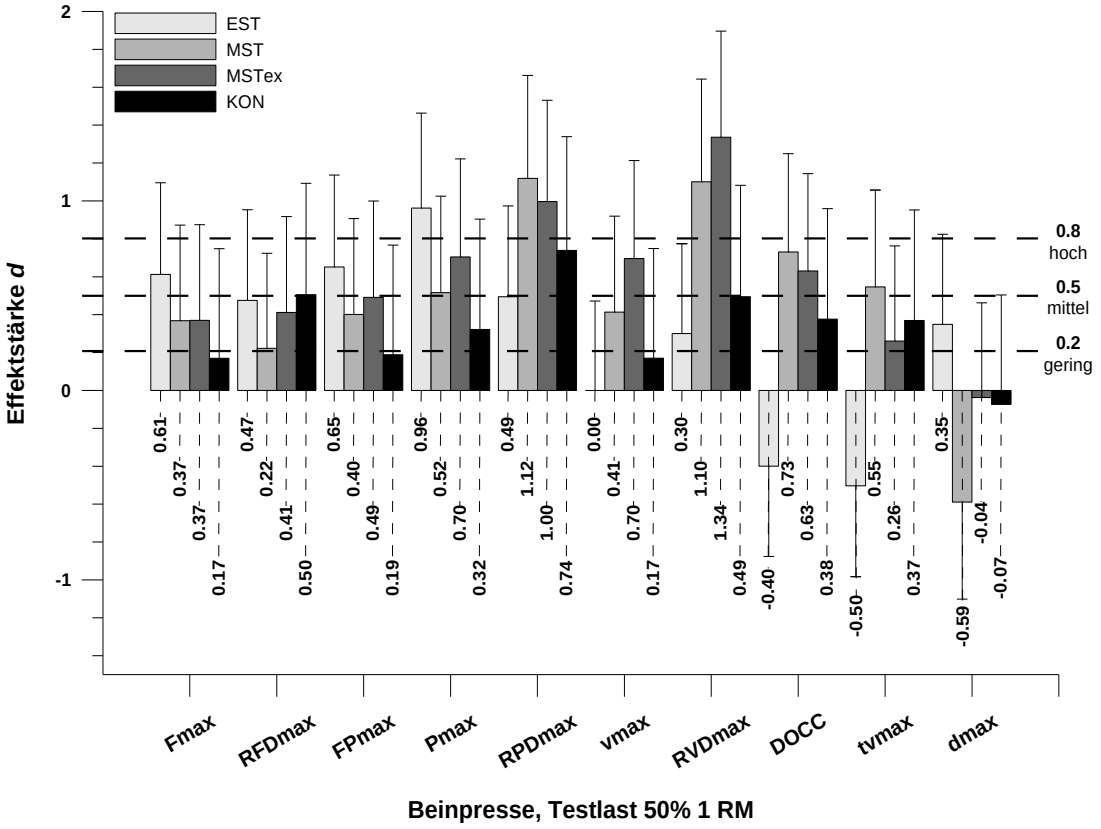

Abbildung 4-41: Klassische Effektstärke *d* der Variablen der muskulären Leistung der Testübung Beinpresse in den Trainingsgruppen und in der Kontrollgruppe bei einer Testlast von 50% 1 RM (vertikale Balken stellen das 95% Konfidenzintervall dar, die horizontalen Linien markieren die unterschiedliche Bedeutsamkeit der Effekte).

Die Studie von Behm und Sale (1993a) bildete den Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchung. Die Autoren fanden sowohl in der intendiert-explosiv als auch in der konzentrisch-explosiv trainierenden Gruppe signifikante Anstiege der isometrischen Explosivkraft, wobei sich beide Gruppen nicht unterschieden. In der vorliegenden Untersuchung kommt es in keiner der drei Trainingsgruppen zu einer Veränderung der RFD_{max}. Nach der Argumentation von Behm und Sale (1993a), dass eine intendiert-explosive Bewegungsausführung zu Schnellkraftverbesserungen führt, wäre eine Verbesserung der RFD_{max} in der MSTex zu erwarten gewesen. Dass dieser Effekt ausblieb, könnte zu einem auf die Auswahl der Testübung (mehrgelenkige Beinpresse gegenüber eingelenkiger Dorsalflexion) zurückgeführt werden. Zum anderen begünstigt das Studiendesign von Behm und Sale (1993a) einen kontralateralen Transfer, der den Ursache-Wirkungs-Zusammenhang der Trainingsintervention verschleiern könnte. Weiterhin könnten die unterschiedliche Kontraktionsform der Testübungen (isometrisch bei Behm und Sale 1993a, dynamisch hier) und die längere Trainingsdauer (13 Wochen gegenüber 6 Wochen) bei höherer Trainingsfrequenz (3 gegenüber 2 Trainingseinheiten pro Woche) zu unterschiedlichen Ergebnissen geführt haben. Die notwendige Kopplung eines initial-explosiven Kontraktionsbefehls an eine dynamische Bewegung, die Schlumberger und Schmidtbleicher (2001) als mögliche Ursache für die fehlenden Effekte der intendiert-explosiven Kontraktion unter isometrischen Bedingungen anführen, kann in diesem Fall ausgeschlossen werden, da dynamisch trainiert wurde.

Analog zu Young und Bilby (1993) zeigt die vorliegende Untersuchung zwischen der MST und MSTex keine Gruppenunterschiede hinsichtlich der RFD_{max}. Von Messzeitpunkt 1 zu 2 konnten Young und Bilby (1993) sowohl in der intendiert-explosiven als auch in der kontrolliert-zügigen

Gruppe signifikante ($p \leq .01$) Steigerungen der RFD_{max} nachweisen. Diese Verbesserungen traten in der vorliegenden Studie in keiner Trainingsgruppe auf. Als Ursachen hierfür könnten die geringere Trainingsfrequenz (2 statt 3 Trainingseinheiten pro Woche), die Unterschiede im Probandengut (trainierte statt untrainierte Probanden) sowie die koordinativen Anforderungen der Trainings- und Testübungen (Kniebeuge gegenüber Beinpresse) mit ihrem möglichen Potenzial für koordinative Verbesserungen herangezogen werden. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Behm und Sale (1993a), und Young und Bilby (1993) scheint es möglich, dass die fehlenden Verbesserungen der RFD_{max} in der vorliegenden Studie und in der Untersuchung von Schlumberger und Schmidtbleicher (2001) nicht allein auf neuronalen Faktoren beruhen, sondern vielmehr von fehlenden morphologischen Veränderungen beeinflusst wurden (Aagaard & Bangsbo, 2006). Diese sind bei untrainierten Probanden mit höherer Trainingsfrequenz bei längerer Studiendauer eher zu erwarten.

Signifikant höhere Verbesserungen der P_{max} in der Beinpresse fanden Bottaro et al. (2007) bei einem intendiert-explosiven gegenüber einem traditionellen Beinkrafttraining. Die Trainings- und Testlasten betrugen dabei 60% des 1 RM. In der vorliegenden Studie sind keine bedeutsamen Verbesserungen der P_{max} in der MSTex gegenüber der MST zu erkennen. Die von Bottaro et al. (2007) zugrunde gelegten neuromuskulären Adaptationen der intendiert-explosiven Bewegungsausführung bei inaktiven Älteren scheinen - trotz höherer Trainingsintensitäten - nicht auf die Zielgruppe der krafttrainingserfahrenen jüngeren Erwachsenen übertragbar.

Fielding et al. (2002) berichteten ebenfalls von einer stärkeren Leistungsverbesserung (P_{max}) in der Beinpresse nach einer intendiert-explosiven gegenüber einer langsam-kontrollierten Bewegungsausführung. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die bedeutsamen Steigerungen innerhalb der Gruppen mittels Regressionsanalyse auf zwei unterschiedliche Mechanismen zurückgeführt werden:

> These associations suggest that, with traditional LO, gains in peak power are largely achieved or driven by improvements in muscle strength, whereas in the HI group, changes in peak power were likely explained by factors other than muscle strength (e.g., muscle shortening velocity, neural recruitment). (Fielding et al., 2002, p. 661)

Veränderungen der F_{max}, P_{max} und v_{max} durch ein intendiert-explosives Training mit hohen Lasten betrachteten Jones et al. (2001) bei krafttrainingserfahrenen Baseballspielern. Es zeigten sich bei der Sprungkniebeuge mit 50% 1 RM signifikante Zunahmen der P_{max}, die F_{max} und v_{max} blieben unverändert. In der vorliegenden Studie ist die signifikante Verbesserung der P_{max} bei 50% 1 RM für die Gruppe MSTex ebenso festzustellen wie die statistisch unbedeutende Änderung der F_{max}. Die v_{max} zeigt bei einer Testlast von 50% 1 RM eine tendenzielle Zunahme. Unter der Berücksichtigung der durchgehend signifikanten Steigerungen der F_{max}, P_{max} und v_{max} bei einer Testlast von 80% 1 RM, ist die Annahme der geschwindigkeitsspezifischen Anpassung, vorgegeben durch die externe Last, von Jones et al. (2001, p. 355) zu bestätigen.

McBride et al. (2002) untersuchten die Auswirkungen eines explosiv-intendierten Sprungkniebeugentrainings mit hohen Lasten auf die F_{max}, P_{max} und v_{max} bei Testlasten von 55% und 80% 1 RM. Es zeigten sich signifikante Verbesserungen der F_{max} und P_{max} sowohl bei 55% als auch 80% 1 RM. Die v_{max} veränderte sich bei beiden Testlasten nicht. Nach Ansicht der Autoren ist zur Verbesserung der Geschwindigkeitskomponente eine hohe Beschleunigung notwendig, die nur bei leichteren Lasten erfolgen kann. Diese Aussage deckt sich nicht mit den hier

gefundenen Ergebnissen: die v_{max} weist bei 80% 1 RM in allen Trainingsgruppen einen signifikanten und bei 50% 1 RM für die MST und MSTex einen tendenziellen Anstieg auf. Offenbar reicht die Beschleunigungskomponente der kontrolliert-zügigen bzw. intendiert-explosiven Bewegungsausführung für einen Transfereffekt auf die geringere Last von 50% 1 RM aus. Ein weiterer Grund für diese unterschiedliche Beobachtung könnte in der Übungsauswahl zu finden sein. Die Übung Beinpresse stellt deutlich geringere Anforderungen an die Koordination und Rumpfstabilität und könnte somit im Vergleich zu McBride et al. (2002) eine schnellere Bewegungsausführung unter Trainings- und Testbedingungen erlauben.

Für die Schnellkraftvariablen RPD_{max}, RVD_{max}, DOCC, d_{max}, F_{Pmax} und t_{vmax} liegen keine vergleichenden Untersuchungen vor.

Die Tabelle 4-14 stellt die nachträglich berechneten Effektstärken der Primärstudien dar. Die Effektstärken von Bottaro et al. (2007) liegen intendiert-explosive Bewegungsausführung deutlich oberhalb (MSTex) bzw. für eine kontrolliert-zügige Bewegungsausführung im Rahmen der hier gefundenen Effekte (MST). Die Effektstärken von Jones et al. sind im Vergleich zur vorliegenden Studie für die geschwindigkeitsabhängigen Variablen deutlich geringer, der Effekt für die F_{max} ist höher.

McBride et al. (2002) fanden im Gegensatz zu dieser Studie keine lastspezifischen Unterschiede in den Effektstärken, die Effekte für die F_{max} sowie P_{max} sind deutlich höher als für die v_{max}. Die mittleren bis hohen Effekte der RFD_{max} bei Young und Bilby (1993) sind in der vorliegenden Untersuchung weder in der MST noch in der MSTex zu finden. Die gleich hohen Effekte der KON weisen auf den oben angesprochenen möglichen Einfluss der sportlichen Aktivitäten des laufenden Semesters auf die Testergebnisse hin.

Tabelle 4-14: Nachträglich berechnete klassische Effektstärken *d* der Schnellkraftvariablen der Primärstudien, Unterkörper.

Autor	Training	Unterkörper			
		Testübung	Maß	*d*	*KI*
Bottaro et al., 2007	Traditionell	Beinpresse 60% 1 RM	P_{max}	0.39	1.08
	Power		P_{max}	1.25	1.03
Jones et al., 2001	70-90% 1 RM	Sprungkniebeuge 50% 1 RM	F_{max}	0.60	0.91
			P_{max}	0.19	0.89
			v_{max}	0.11	0.89
McBride et al., 2002	Jump Squat 80 % 1 RM	Jump Squat 55% 1 RM	F_{max}	1.56	1.15
			P_{max}	2.25	1.30
			v_{max}	0.09	1.00
		Jump Squat 80% 1 RM	F_{max}	1.50	1.14
			P_{max}	2.01	1.25
			v_{max}	0.10	1.00
Young & Bilby, 1993	kontrolliert-zügig	Kniebeuge isometrisch	RFD_{max}	0.66	1.03
	intendiert-explosiv		RFD_{max}	0.90	1.22

d, Effektstärke *d*; F_{max}, maximale Kraft; *KI*, 95 % Konfidenzintervall; P_{max}, maximale Leistung; RFD_{max}, maximale Kraftentwicklung; v_{max}, maximale Geschwindigkeit.

Betrachtet man die normalisierten Kraft-Zeit-Kurven, so zeigen sich für alle drei Trainingsgruppen und die Kontrollgruppe bei einer Testlast von 80% 1 RM signifikante Verbesserungen zwischen 25% und 75% (Abbildung 4-20). Die statistisch bedeutsame Verbesserung der Kontrollgruppe könnte auf die tendenzielle Verbesserung der isometrischen Maximalkraft

(Abbildung 4-10) sowie die oben angesprochene höhere körperliche Belastung im laufenden Semester zurückgeführt werden. Die Kurven weisen durchgehend die charakteristischen Veränderungen der Kraftentwicklung auf, wie sie von anderen Autoren (Aagaard et al., 2002; Mester et al., 2010) für Verbesserungen der Schnellkraft beschrieben wurden. Zwischen den Gruppen zeigen sich zum zweiten Messzeitpunkt von 0-20% signifikant höhere Kraftwerte der MSTex gegenüber der MST und EST. Diese könnten Ausdruck einer neuronalen Anpassung mit höherer Kraftentwicklung zu Bewegungsbeginn an die intendiert-explosive Bewegungsausführung sein oder auf der tendenziell höheren muskulären Vorspannung zu Beginn beruhen. Bei einer Testlast von 50% weist lediglich die EST statistisch bedeutsame erhöhte Kraftwerte auf (Abbildung 4-22). Crewther et al. (2005, p. 980) diskutieren in diesem Zusammenhang die größere Beanspruchung des kontraktilen Apparats durch eine langsame konzentrische Bewegungsausführung.
Die normalisierten Leistungs-Zeit-Kurven unterstreichen die oben angesprochenen lastspezifischen Verbesserungen bei einer Testlast von 80% 1 RM in den drei Trainingsgruppen (Abbildung 4-26). Die deutliche Rechtsverschiebung der Leistungs-Zeit-Kurve der MSTex mit einem späteren Leistungsmaximum führt zu signifikanten Unterschieden gegenüber der EST und MST zum Ende der normalisierten Leistungs-Zeit-Kurve (Abbildung 4-27). Diese Rechtsverschiebung zeigt sich ebenfalls in der normalisierten Geschwindigkeits-Zeit-Kurve der MSTex im Vergleich zur MST und EST (Abbildung 4-31), Gemeinsam betrachtet deuten beide normalisierte Kurven auf koordinative Anpassung im Hinblick auf eine längere Beschleunigungsphase des MSTex-Belastungsprotokolls durch die intendiert-explosive Bewegungsausführung hin. Das damit verbundene Freigeben des Gewichtes in Form eines Sprungs führt zu höheren Kraft- und Geschwindigkeitswerten am Bewegungsende als bei abgebremsten Bewegungen (Newton et al., 1996; Cronin et al., 2001b). Bei einer Testlast von 50% 1 RM zeigt lediglich die MSTex signifikante Verbesserungen zwischen 55% und 65% der normalisierten Leistungs-Zeit-Kurve (Abbildung 4-28).

Die normalisierten Geschwindigkeits-Zeit-Kurven bilden ebenfalls die oben beschriebenen lastspezifischen Anpassungen in den Trainingsgruppen ab. Da in der Kontrollgruppe eine Zunahme der Geschwindigkeit nicht zu erkennen ist, lassen sich die Zunahmen der Kontraktionsgeschwindigkeiten in allen drei Gruppen auf neuronale Trainingsanpassung zurückführen. Auch hier zeigt die MSTex wieder einen Transfer auf die Testlast von 50% 1 RM.

4.6 Unterschiedsprüfung der Variablen der muskulären Leistung, Testübung Brustpresse

Die Unterschiedsprüfung erfolgt analog zur Maximal- und Sprungkraftvariablen mittels Messwiederholung (Innersubjektfaktor Messzeitpunkt 2 Stufen: Messzeitpunkt 1 und 2; Zwischensubjektfaktor Gruppe: EST, MST, MSTex, KON). A priori werden Kontraste gemäß der Hypothesen $H_1$5, $H_1$6 und $H_1$7 für die Prüfung höherer Schnellkraftwerte der EST, MST und MSTex gegenüber der KON definiert. Die deskriptiven Tabellen sowie die weiteren statistischen Kennzahlen der Messwiederholung finden sich im Anhang VIII.

4.6.1 Maximale Kraft (F_{max})

Die maximale Kraft (F_{max}) weist in der Testübung Brustpresse bei allen Trainingsgruppen, mit Ausnahme der Einsatztrainingsgruppe bei 50% 1 RM (-0.3%), Verbesserungen von 0.4% bis 1.4% auf. In der Kontrollgruppe verringerte sich die F_{max} (-0.8 bis -3.3%, Abbildung 4-42).

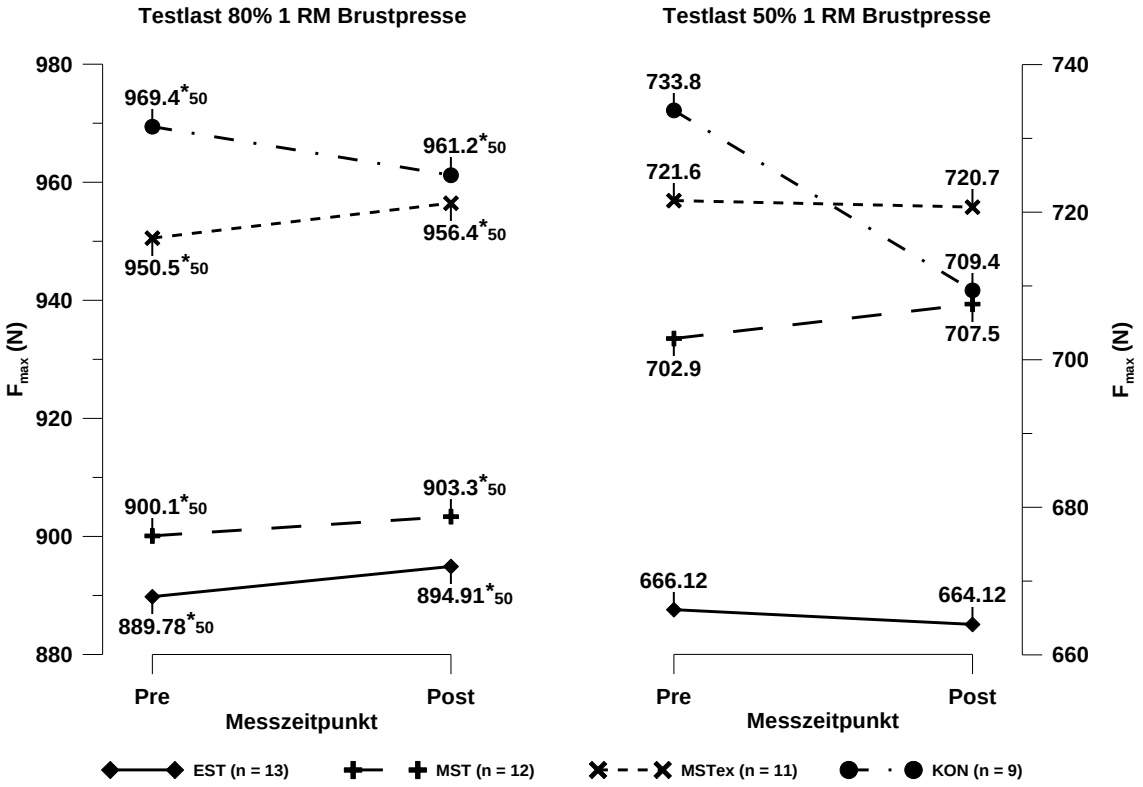

Abbildung 4-42: Veränderungen der Variable maximale Kraft (F_{max}) für die Brustpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_{50}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum 50% 1 RM).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt für die Testübung Brustpresse einen signifikanten Effekt für den Innersubjektfaktor Testlast ($F(1, 41) = 1168.316$, $p = .000$, $\eta^2_p = .966$); die gemessene maximale Kraft unterscheidet sich in Abhängigkeit von der Testlast in der mittleren Differenz aller Gruppen um 224.95 N (*KI*: 211.66 N - 238.25 N, $p = .000$) mit durchgehend höheren Kraftwerten in allen Gruppen zu beiden Messzeitpunkten bei 80% 1 RM. Ein tendenzieller Interaktionseffekt von Testlast*Gruppe ($F(3, 41) = 2.345$, $p = .087$, $\eta^2_p = .146$) weist auf Unterschiede innerhalb der Gruppen hin, der in Abbildung 4-42 bei 50% 1 RM grafisch zu erkennen ist. Die Betrachtung der geschätzten Randmittel zeigt keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Gruppen bei den Testlasten 80% und 50% 1 RM.

Die a priori definierten Kontraste zeigen keinen bedeutsamen Unterschied zwischen den Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe ($F(1, 41) = 0.602$, $p = .221$, $\eta^2_p = .014$).

4.6.2 Maximale momentane Kraftentwicklung (RFD_{max})

Abbildung 4-43 zeigt die maximale momentane Kraftentwicklung (RFD_{max}) in der Brustpresse.

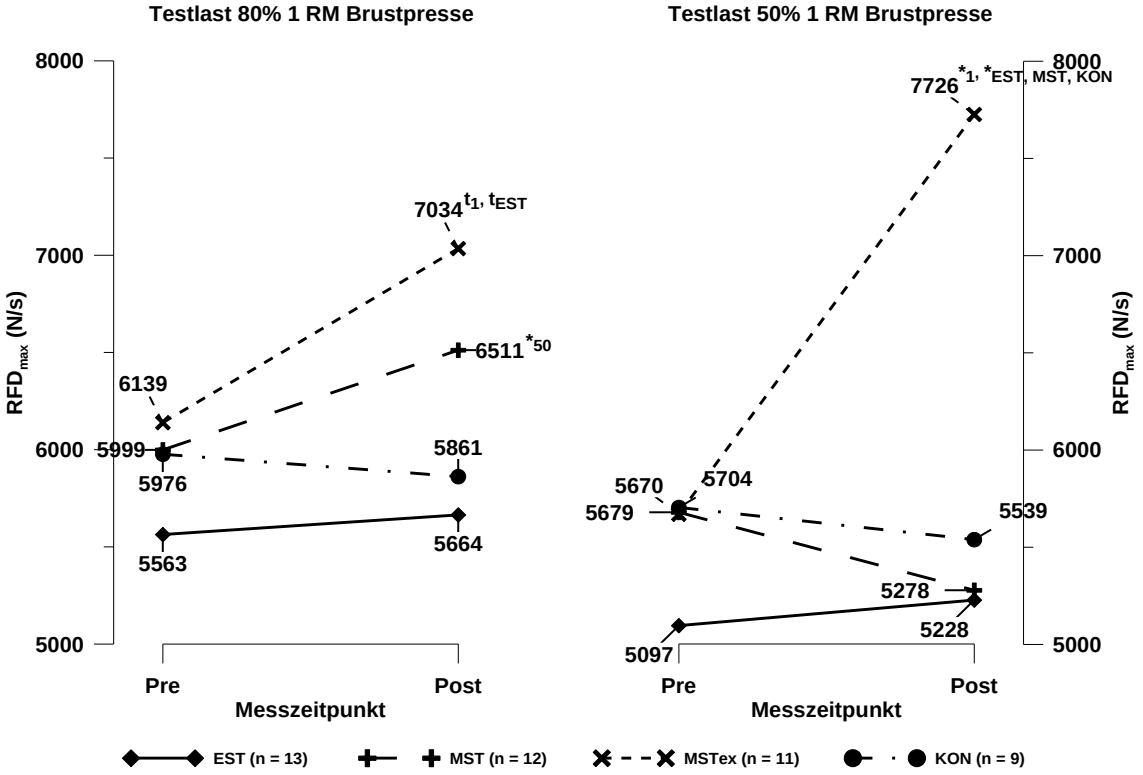

Abbildung 4-43: Veränderungen der Variable maximale Kraftentwicklung (RFD_{max}) für die Brustpresse über den Untersuchungszeitraum (t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$); *x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; EST, MST, MSTex oder KON entspricht den jeweiligen Gruppen; 50% der Testlast von 50% 1 RM).

Bei 80% 1 RM weisen die MST (9%) und MSTex (17%) die höchsten Verbesserung der Kraftentwicklung auf, die maximale Kraftentwicklung der EST nimmt minimal zu (1%). Bei 50% 1 RM steigt die maximale Kraftentwicklung der MSTex (34%) und EST (3%) ebenfalls an, die Kraftentwicklungswerte MST weist einen gegenläufigen Trend auf (-7%). Die Kontrollgruppe zeigt bei beiden Testlasten eine leichte Abnahme der maximalen Kraftentwicklung (-2% bis -3%). Die Varianzanalyse mit Messwiederholung offenbart für die Testübung Brustpresse einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Testlast ($F(3, 41) = 4.762$, $p = .035$, $\eta^2_p = .104$). Die mittlere Differenz zwischen den Testlasten zeigt eine für beide Messzeitpunkte zusammen eine insgesamt höhere Kraftentwicklung bei 80% 1 RM (349.53 N/s, *KI*: 26.04 N/s - 673.01 N/s, $p = .035$). Für die Interaktion Messzeitpunkt*Testlast*Gruppe ist ein statistisch bedeutsamer Effekt festzustellen ($F(3, 41) = 2.876$, $p = .048$, $\eta^2_p = .174$). Bei einer Testlast von 50% 1 RM zeigen die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel innerhalb der Gruppen für die MSTex eine signifikante Verbesserung der maximalen Kraftentwicklung um 2026.41 N/s (*KI*: 781.45 N/s - 3271.37 N/s, $p = .002$), bei 80% 1 RM ist in der MSTex eine tendenzielle Verbesserung der maximalen Kraftentwicklung um 895.41 N/s (*KI*: -149.32 N/s - 1940.14 N/s, $p = .091$) festzustellen. Die Gruppenvergleiche zu den Messzeitpunkten offenbaren bei 50% 1 RM eine signifikant höhere maximale Kraftentwicklung zum zweiten Messzeitpunkt im Vergleich von

- MSTex zu EST (2498.25 N/s, *KI*: 586.48 N/s - 4410.02 N/s, p = .012),
- MSTex zu MST (2447.80 N/s, *KI*: 499.86 N/s - 4395.74 N/s, p = .015) und
- MSTex zu KON (2187.09 N/s, *KI*: 89.62 N/s - 4284.56 N/s, p = .041).

Bei einer Testlast von 80% 1 RM ist zum zweiten Messzeitpunkt ein tendenzieller Unterschied zwischen MSTex und EST zugunsten der MSTex zu erkennen (1369.89 N/s, *KI*: -241.06 N/s - 2980.85 N/s, p = .093). Interessant ist die signifikant unterschiedliche Steigerung der RFD_{max} zwischen den Testlasten in der Gruppe MST: war zum ersten Messzeitpunkt die Differenz zwischen 80% und 50% 1 RM noch unbedeutend (319.29 N/s, *KI*: -329.01 N/s - 967.59 N/s, p = .326), so stellt sie sich zum zweiten Messzeitpunkt als statistisch bedeutend dar (1233.08 N/s, *KI*: 325.20 N/s - 2140.97 N/s, p = .009). Die MST zeigt folglich eine lastspezifische Adaptation bei einer Testlast 80% 1 RM, die der Spannungshöhe im Training entspricht (vgl. Kapitel 4.2.2). Die a priori definierten Kontraste zeigen keinen Unterschied zwischen den Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe ($F(1, 41) = 0.131$, p = .360, η^2_p = 003).

4.6.3 Normalisierte Kraft-Zeit-Kurve

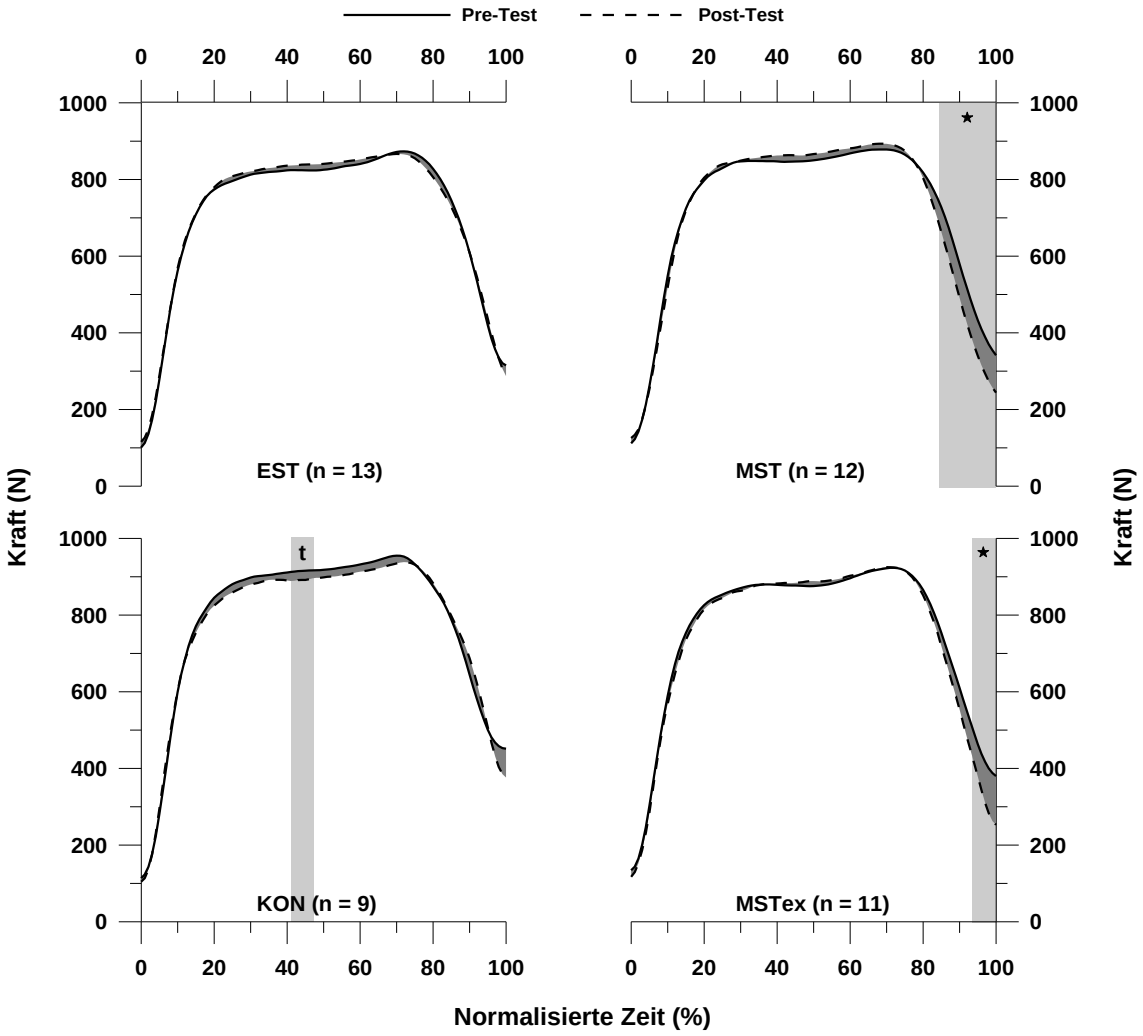

Abbildung 4-44: Normalisierte Kraft-Zeit-Kurve der Testübung Brustpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 80% 1 RM (*, signifikanter Unterschied (p < .05); t, tendenzieller Unterschied (p < .10)).

Die Kraft-Zeit-Kurven der Untersuchungsgruppen zeigen für eine Testlast von 80% 1 RM in den Gruppen MST und MSTex eine Linksverschiebung im letzten Fünftel der Bewegung

(Abbildung 4-44). Die Kurven der EST und KON vom Pre- zum Post-Test sind nahezu deckungsgleich. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist einen bedeutsamen Haupteffekt für den Faktor normalisierte Zeitwerte (NormZeit) auf (F(3.111, 127.555) = 464.273, p = .000, η^2_p = .919), d.h. die Kraftwerte unterscheiden sich im Verlauf der Kraft-Zeit-Kurve. Der Faktor Messzeitpunkt deutet tendenzielle Unterschiede zwischen dem Pre- und Post-Test hin (F(1, 41) = 3.467, p = .070, η^2_p = .078). Ein signifikanter Interaktionseffekt ist für NormZeit*Messzeitpunkt festzustellen (F(3.707, 151.984) = 3.085, p = .020, η^2_p = .070).

Die multivariaten Tests der geschätzten Randmittel zeigen im Pre-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen signifikante geringere Kraftwerte der Gruppe MST zum zweiten Messzeitpunkt zwischen 84% - 100% (F(1, 41) ≥ 5.230, p ≤ .027, η^2_p ≥ .113), die MSTex zeigt ebenfalls bedeutsame Kraftverringerungen zwischen 93% - 100% (F(1, 41) ≥ 4.676, p ≤ .036, η^2_p ≥ .102). Tendenzielle geringere Kraftwerte sind in der KON zwischen 41% -46% zum zweiten Messzeitpunkt zu erkennen (F(1, 41) ≥ 3.062, p ≤ .088, η^2_p ≥ .069).

Die paarweisen Vergleiche identifizieren signifikant höhere Kraftwerte der KON im Pre-Test im Vergleich zur EST zwischen 96% - 100%. Im Post-Test zeigt ebenfalls die KON signifikante höhere Kraftwerte zum Bewegungsende im Vergleich zur EST und MSTex (97% - 100%) und zur MST (92% - 100%, vgl. Abbildung 4-45). Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen (F(1, 41) = 1.084, p = .152, η^2_p = .026).

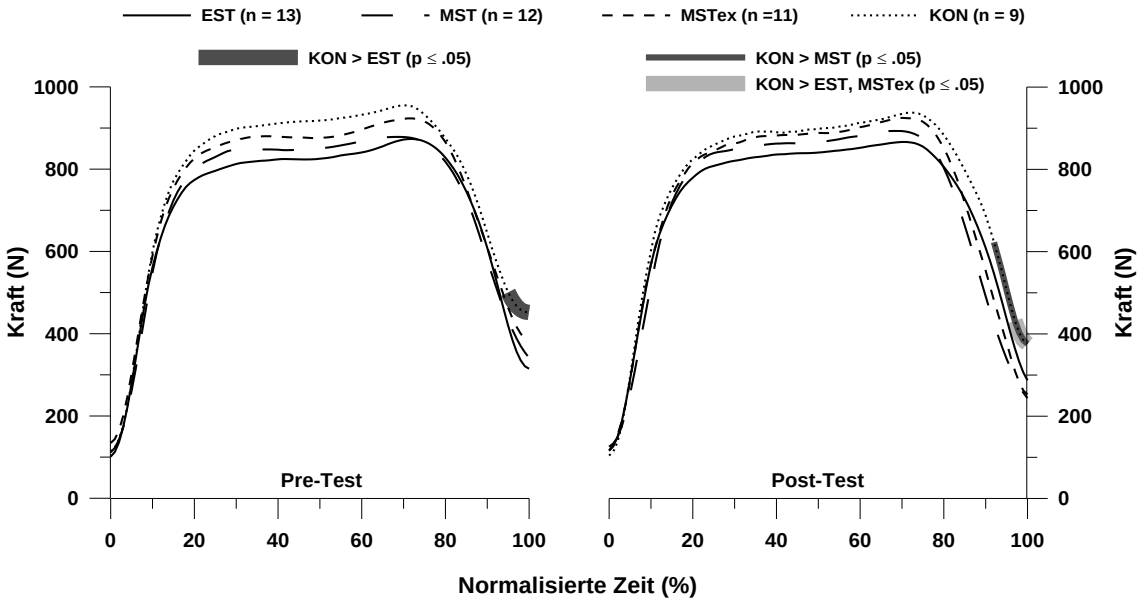

Abbildung 4-45: Vergleichende Kraft-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM.

Die Kraft-Zeit-Kurven sind bei einer Testlast von 50% 1 RM, mit Ausnahme der Gruppe MST vom Pre- zum Post-Test, nahezu deckungsgleich (Abbildung 4-46). Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist einen bedeutsamen Haupteffekt für den Faktor NormZeit auf (F(2.474, 101.428) = 431.634, p = .000, η^2_p = .913), d.h. die Kraftwerte unterscheiden sich im Verlauf der Kraft-Zeit-Kurve. Ein signifikanter Interaktionseffekt ist für NormZeit*Messzeitpunkt festzustellen (F(3.661, 150.121) = 3.248, p = .016, η^2_p = .073).

Die multivariaten Tests der geschätzten Randmittel zeigen im Pre-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen signifikante geringere Kraftwerte der Gruppe MST zum zweiten Messzeitpunkt

zwischen 54% - 72% ($F(1, 41) \geq 4.159$, $p \leq .048$, $\eta^2_p \geq .092$) und 87% - 100% ($F(1, 41) \geq 4.429$, $p \leq .042$, $\eta^2_p \geq .097$), die MSTex zeigt ebenfalls bedeutsame Kraftverringerungen zwischen 96% - 100% ($F(1, 41) \geq 4.498$, $p \leq .040$, $\eta^2_p \geq .099$). Signifikant geringere Kraftwerte sind in der KON zwischen 50% -52% zum zweiten Messzeitpunkt zu erkennen ($F(1, 41) \geq 4.121$, $p \leq .049$, $\eta^2_p \geq .091$, vgl. Abbildung 4-46).

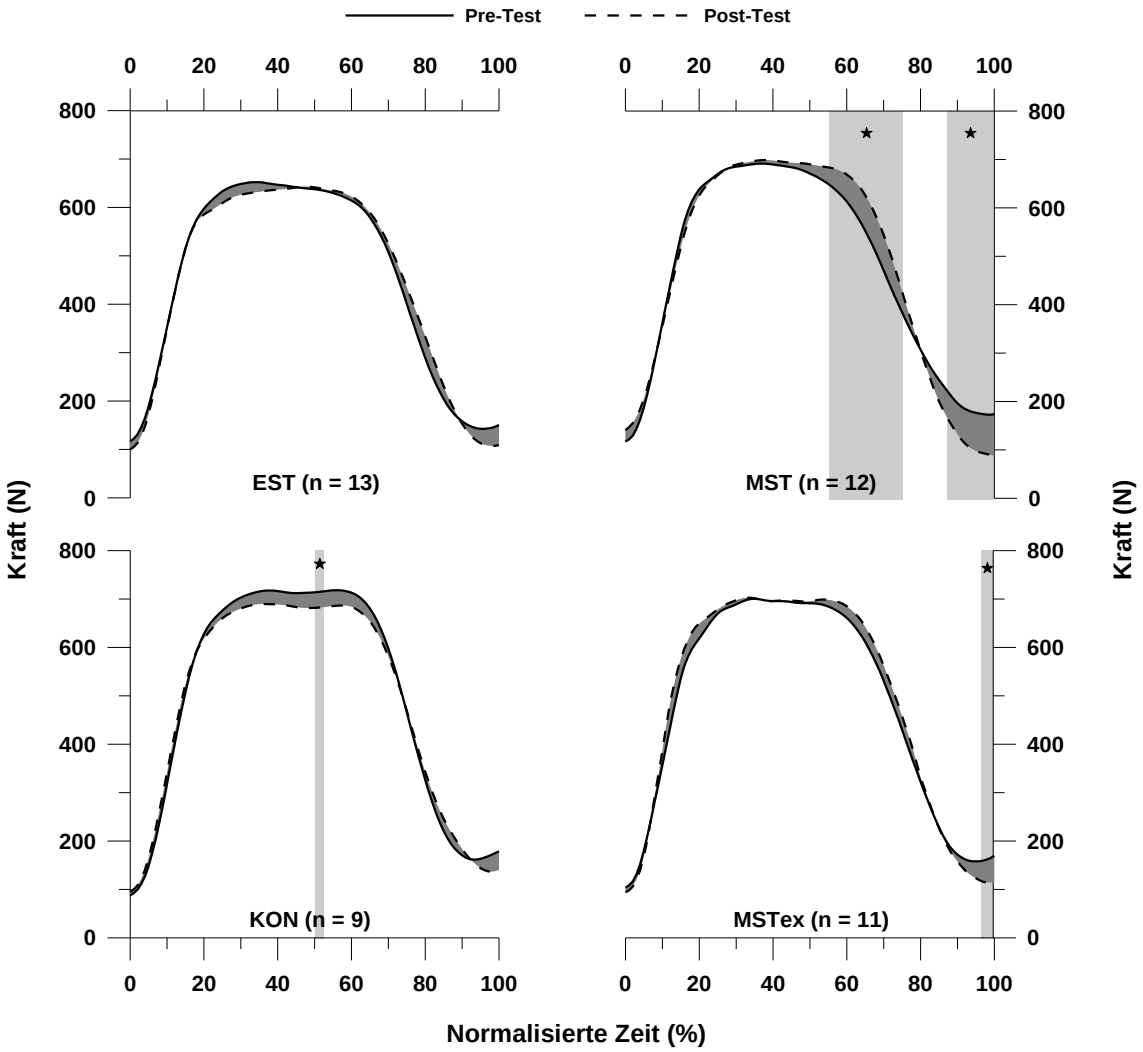

Abbildung 4-46: Normalisierte Kraft-Zeit-Kurve der Testübung Brustpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 50% 1 RM (*, signifikanter Unterschied ($p < .05$)).

Die paarweisen Vergleiche des Gruppenvergleichs identifizieren signifikant höhere Kraftwerte der KON im Pre-Test im Vergleich zur EST zwischen 52% - 65% sowie im Vergleich zur MST zwischen 61% - 69% der Kraft-Zeit-Kurve. Im Post-Test zeigt ebenfalls die KON signifikante höhere Kraftwerte zum Bewegungsende im Vergleich zur MST (91% - 93%, vgl. Abbildung 4-47).

Der a priori definierte Kontrast offenbart keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 41) = 1.084$, $p = .215$, $\eta^2_p = .010$).

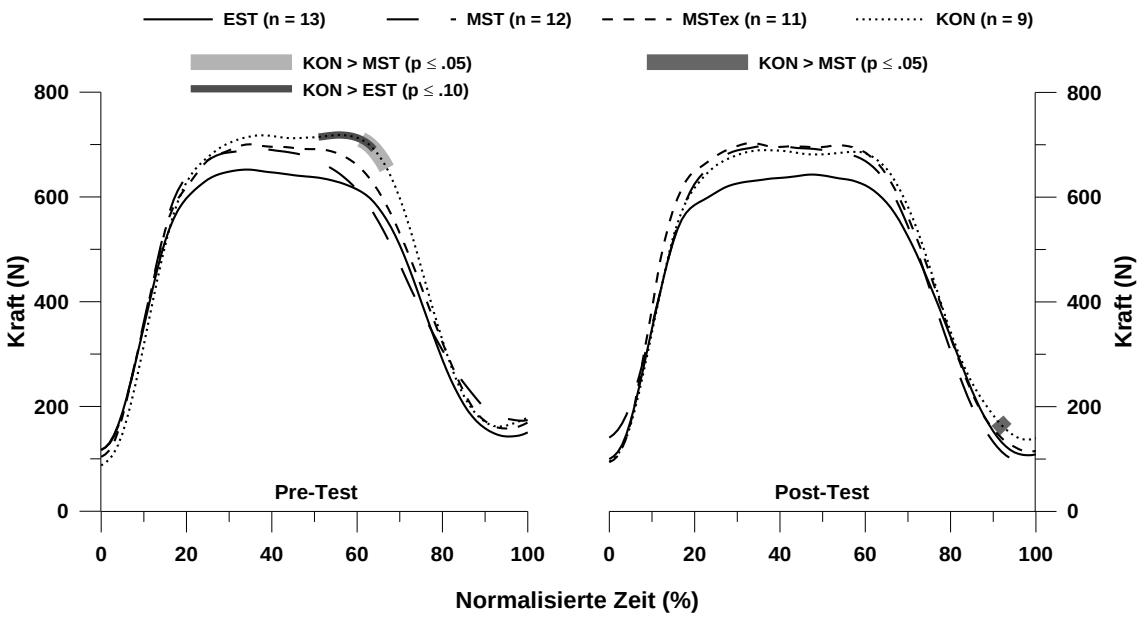

Abbildung 4-47: Vergleichende Kraft-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM.

4.6.4 Maximale Leistung (P_{max})

In der maximalen Leistung zeigen sich bei einer Testlast von 80% 1 RM ein höherer Wattanstieg (4% - 17%) in allen Trainingsgruppen im Vergleich zu 50% 1 RM (1% - 5%, vgl. Abbildung 4-48). Die höheren absoluten Leistungswerte werden bei 50% 1 RM erbracht. Die Kontrollgruppe verändert ihre P_{max} nur minimal (80% 1 RM, 2%) bzw. diese bleibt konstant (50% 1 RM).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt für die Testübung Brustpresse einen unbedeutenden Haupteffekt für den Faktor Gruppe. Die Haupteffekte Messzeitpunkt ($F(1, 41) = 5.119$, $p = .029$, $\eta^2_p = .111$) und Testlast ($F(1, 41) = 74.263$, $p = .000$, $\eta^2_p = .644$) weisen signifikante Effekte auf die maximale Leistung auf: im Mittel aller Gruppen nimmt die P_{max} von Messzeitpunkt 1 zu 2 um 38.78 W (*KI*: 4.17 W - 73.39 W, $p = .029$) zu, die P_{max} ist bei 50% 1 RM um 122.69 W (*KI*: 93.94 W - 151.44 W, $p = .000$) höher als bei 80% 1 RM. Die Interaktion von Messzeitpunkt*Testlast ($F(1, 41) = 6.794$, $p = .013$, $\eta^2_p = .142$) ist statistisch bedeutsam: vom Messzeitpunkt 1 zu 2 verbessert sich die P_{max} bei einer Testlast von 80% 1 RM für alle Gruppen zusammen um 57.69 W (*KI*: 19.40 W - 95.98 W, $p = .004$), wohingegen sie sich bei 50% 1 RM im Untersuchungsverlauf nicht verändert (19.86 W, *KI*: -17.01 W - 56.73 W, $p = .283$). Die Interaktionen von Messzeitpunkt*Gruppe sowie Testlast*Gruppe sind unbedeutend.

Die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel zeigen für die Gruppen MST und MSTex bei 80% 1 RM signifikante Verbesserungen von Messzeitpunkt 1 zu 2 (MST: 78.36 W, *KI*: 4.91 W - 151.82 W, $p = .037$; MSTex: 119.42 W, *KI*: 42.70 W - 196.14 W, $p = .003$), bei 50% 1 RM sind keine statistisch bedeutenden Effekte festzustellen. Zwischen den Gruppen weisen die paarweisen Vergleiche bei einer Testlast von 80% 1 RM für den zweiten Messzeitpunkt einen signifikanten Unterschied zwischen der MSTex und EST (107.11 W, *KI*: 4.19 W - 210.02 W, $p = .042$) sowie einen tendenziellen Unterschied der MSTex zur KON (107.28 W, *KI*: -5.63 W - 220.19 W, $p = .062$) auf.

Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 41) = 0.013$, $p = .455$, $\eta^2_p = .000$).

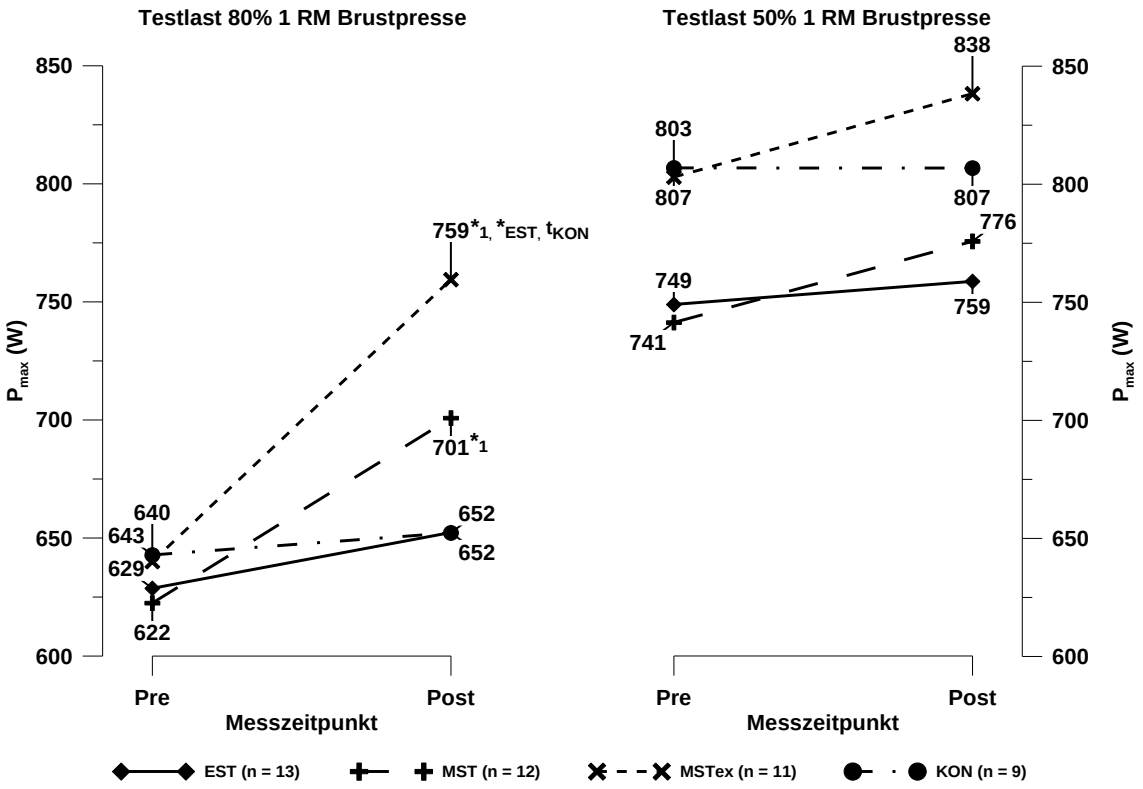

Abbildung 4-48: Veränderungen der Variable maximale Leistung (P_{max}) für die Brustpresse über den Untersuchungszeitraum (t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$); *x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; EST, MST, MSTex oder KON entspricht den jeweiligen Gruppen).

4.6.5 Maximale momentane Leistungsentwicklung (RPD_{max})

Die maximale momentane Leistungsentwicklung (RPD_{max}) zeigt in allen Trainingsgruppen die größeren Verbesserungen bei einer Testlast von 80% 1 RM (10% - 32%) gegenüber 50% 1 RM (3% - 7%). Für beide Testlasten lässt die Gruppe MSTex die höchsten Steigerungen der RPD_{max} erkennen (80% 1 RM, 32%; 50% 1 RM, 7%) (Abbildung 4-49).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist in der Brustpresse für den Faktor Gruppe unbedeutende Effekte auf. Der Innersubjektfaktor Messzeitpunkt zeigt eine tendenzielle höhere RPD_{max} ($F(1, 41) = 3.759$, $p = .059$, $\eta^2_p = .084$) zum zweiten Messzeitpunkt (165.66 W/s, *KI*: -6.89 W/s - 338.22 W/s, $p = .059$), der Innersubjektfaktor Testlast offenbart einen signifikanten Effekt ($F(1, 41) = 161.998$, $p = .000$, $\eta^2_p = .798$) bei höheren maximalen Kraftentwicklungswerten (1260.62 W/s, *KI*: 1060.60 W/s - 1460.65 W/s, $p = .000$) bei 50% 1 RM. Der signifikanten Interaktion von Messzeitpunkt*Testlast ($F(1, 41) = 5.285$, $p = .027$, $\eta^2_p = .114$) beruht auf einer signifikanten Verbesserung der RPD_{max} aller Gruppen bei einer Testlast von 80% 1 RM (262.51 W/s, *KI*: 96.17 W/s - 428.86 W/s, $p = .003$), wohingegen es bei 50% 1 RM zu keiner Steigerung der maximalen Leistungsentwicklung kommt (68.82 W/s, *KI*: -146.50 W/s - 284.13 W/s, $p = .522$). Die weiteren Interaktionseffekte sind unbedeutend.

Die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel zeigen für eine Testlast von 80% tendenzielle Verbesserungen der maximalen Leistungsentwicklung von Messzeitpunkt 1 zu 2 in der Gruppe MST (313.13 W/s, *KI*: -5.99 W/s- 632.25 W/s, $p = 0.54$) und eine signifikante Zunahme in der Gruppe MSTex (555.28 W/s, *KI*: 221.97 W/s - 888.59 W/s, $p = .002$).

Zwischen den Gruppen sind in den paarweisen Vergleichen für den zweiten Messzeitpunkt bei 80% 1 RM tendenziell höhere Werte der MSTex zur MST festzustellen (390.49 W/s, *KI*: -40.52 W/s - 821.49 W/s, p = .075). Der Vergleich der MSTex zu EST (568.95 W/s, *KI*: 145.95 W/s - 991.95 W/s, p = .010) sowie KON (617.32 W/s, *KI*: 153.23 W/s - 1081.41 W/s, p = .010) zeigt signifikante höhere Verbesserungen der maximalen Leistungsentwicklung für die MSTex. Für die Testlast von 50% 1 RM weisen die paarweisen Vergleiche keine Unterschiede auf.

Der a priori definierte Kontrast offenbart keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen (F(1, 41) = 1.271, p = .133, η^2_p = .030).

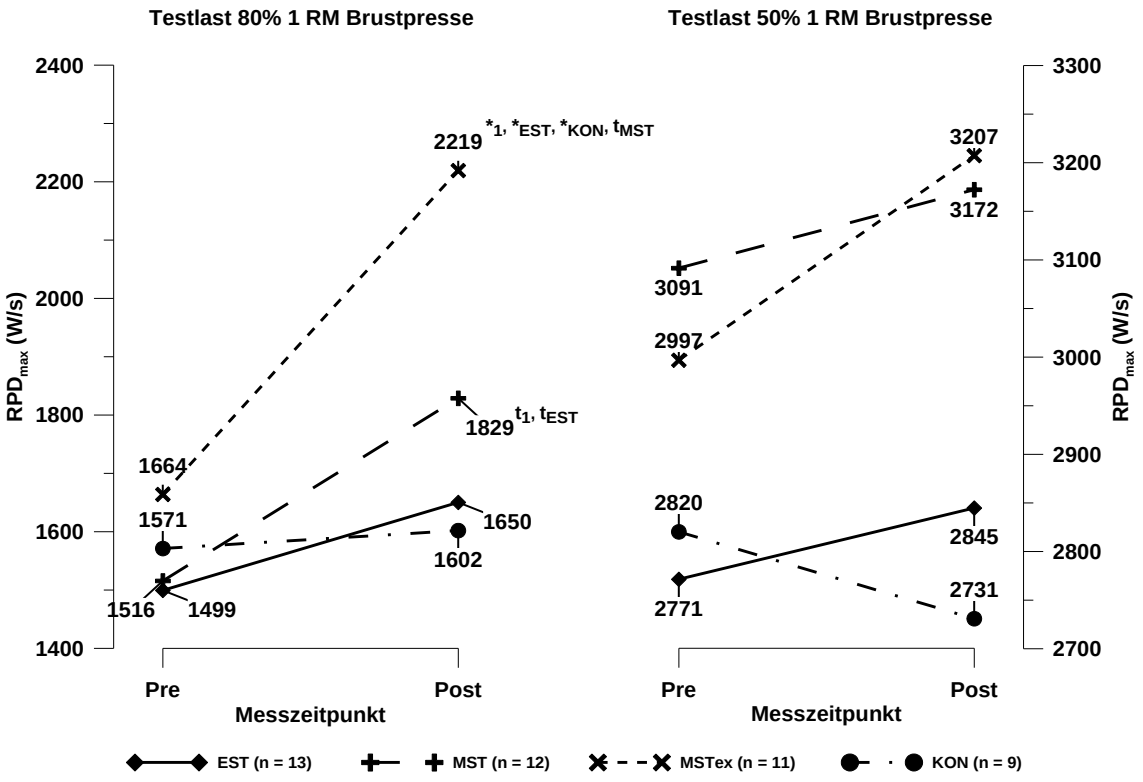

Abbildung 4-49: Veränderungen der Variable maximale Leistungsentwicklung (RPD_{max}) für die Brustpresse über den Untersuchungszeitraum (t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$); *x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; EST, MST, MSTex oder KON entspricht den jeweiligen Gruppen).

4.6.6 Normalisierte Leistungs-Zeit-Kurve

Abbildung 4-50 zeigt die Veränderungen der normalisierten Leistungs-Zeit-Kurven für die drei Trainingsgruppen und die Kontrollgruppe bei einer Testlast 80% 1 RM. Für die Trainingsgruppen ist bis zum Leistungsmaximum eine ausgeprägte Linksverschiebung der Leistungs-Zeit-Kurven festzustellen, d.h. höhere Leistungswerte werden früher erbracht. Die Kontrollgruppe zeigt eine Rechtsverschiebung mit einhergehender Verschlechterung der Leistungswerte.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt keinen Haupteffekt für den Faktor Gruppe. Innerhalb der Subjekte sind bedeutsame Haupteffekte für die normalisierten Zeitwerte (Norm-Zeit, F(1.981, 81.219) = 378.861, p = .000, η^2_p = .902) und den Messzeitpunkt (F(1, 41) = 5.145, p = .029, η^2_p = .111) festzustellen.

Die multivariaten Tests der geschätzten Randmittel offenbaren signifikante Verbesserungen der Gruppe MST zwischen 14% - 30% und 41% - 77% (F(1, 41) ≥ 4.127, $p \leq .031$, $\eta^2_p \geq .091$) der

Leistungs-Zeit-Kurve. Die MSTex zeigt tendenzielle Verbesserungen zwischen 55% - 81% ($F(1, 41) \geq 2.913$, $p \leq .095$, $\eta^2_p \geq .066$).

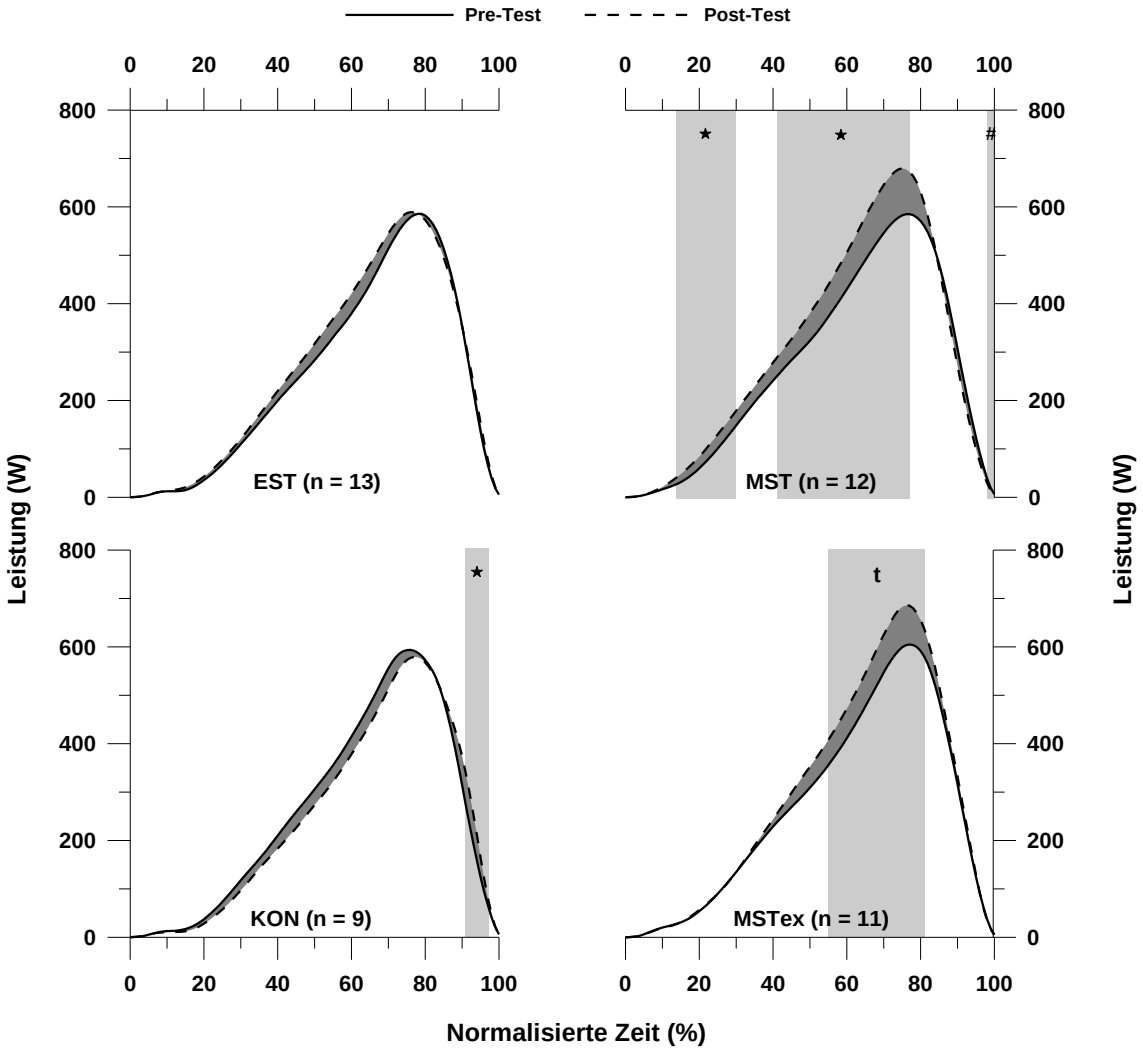

Abbildung 4-50: Normalisierte Leistungs-Zeit-Kurve der Testübung Brustpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 80% 1 RM (*, signifikante Verbesserung ($p < .05$); t, tendenzielle Verbesserung ($p < .10$); #, signifikante Verringerung ($p < .05$).

Die Kontrollgruppe zeigt zwischen 91% - 97% der normalisierten Leistungs-Zeit-Kurve signifikant höhere Leistungswerte ($F(1, 41) \geq 4.454$, $p \leq .041$, $\eta^2_p \geq .098$). Signifikante Verringerungen der Leistungswerte im Pre-Post-Vergleich sind am Ende der normalisierten Leistungs-Zeit Kurve der Gruppe MST zwischen 97% - 100% ($F(1, 41) \geq 2.983$, $p \leq .092$, $\eta^2_p \geq .068$) festzustellen.

Abbildung 4-51 stellt die vergleichenden Leistungs-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test dar. Die Linksverschiebung der Trainingsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe wird in diesem Gruppenvergleich deutlich. Die paarweisen Vergleiche des Gruppenvergleichs identifizieren signifikant höhere Leistungswerte der MST im Vergleich zur KON zwischen 11% - 65% sowie zur EST zwischen 12% - 27% (vgl. Abbildung 4-51).

Der a priori definierte Kontrast zeigt keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 41) = 1.295$, $p = .131$, $\eta^2_p = .031$).

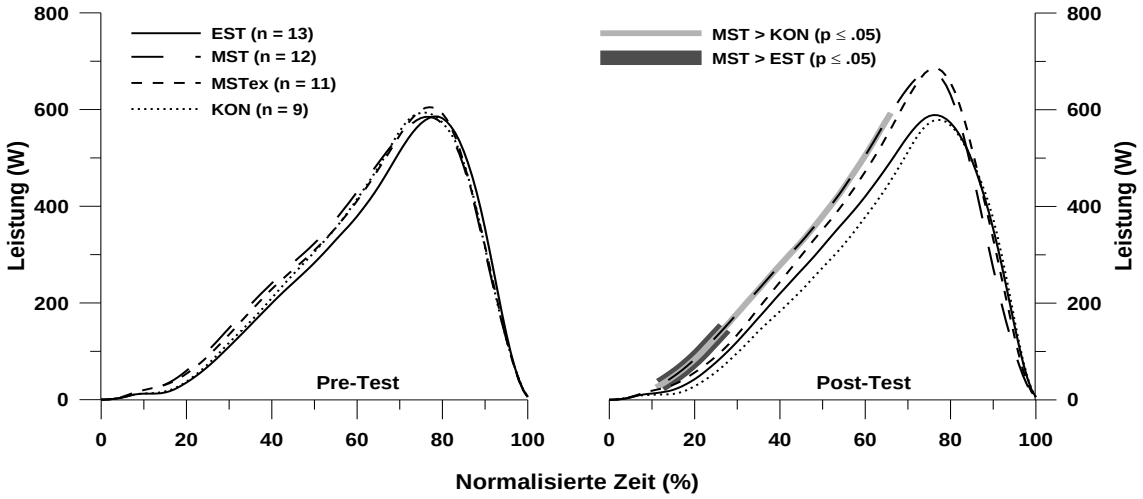

Abbildung 4-51: Vergleichende Leistungs-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM.

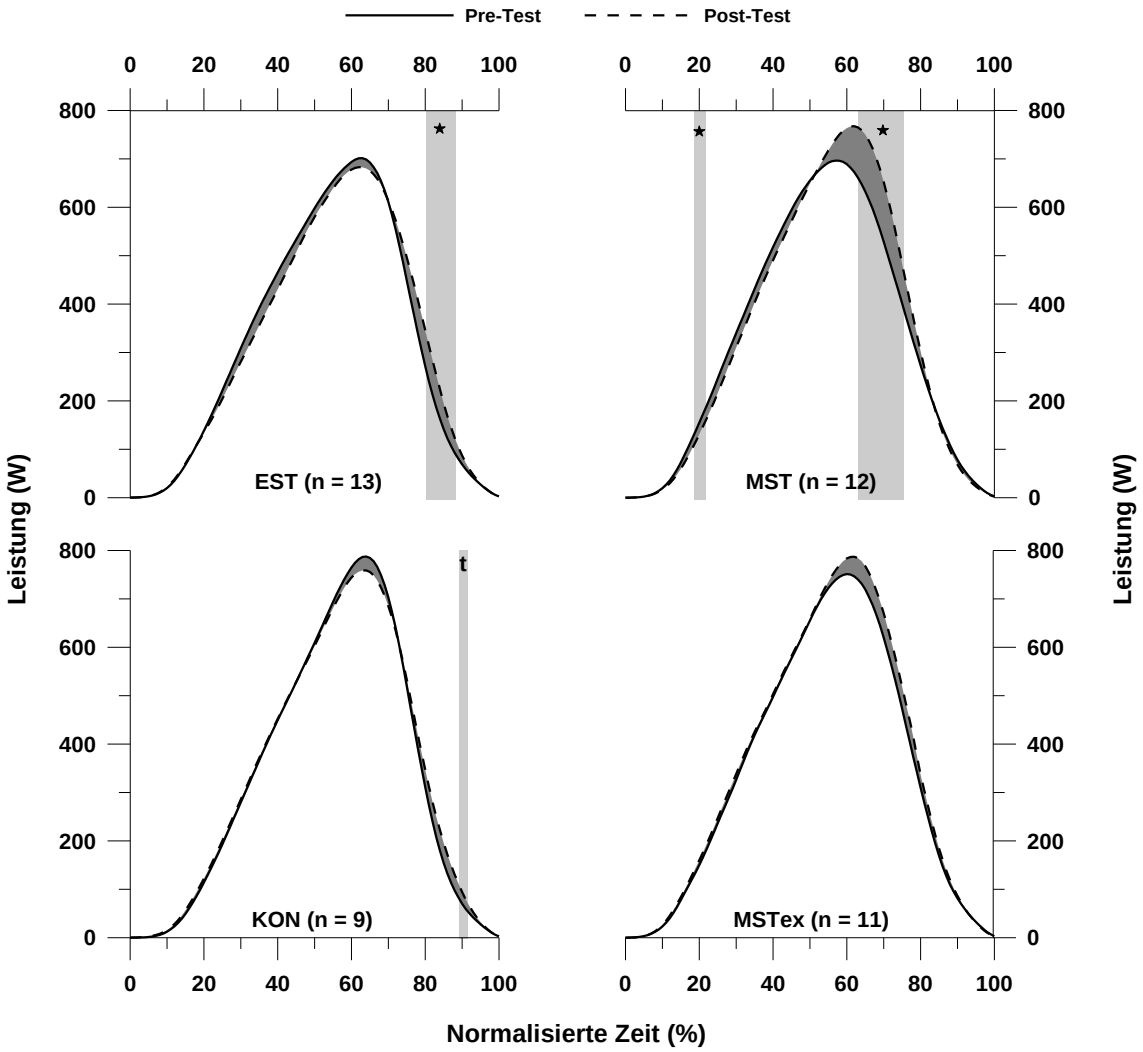

Abbildung 4-52: Normalisierte Leistungs-Zeit-Kurve der Testübung Brustpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 50% 1 RM (*, signifikante Verbesserung (*p* < .05); t, tendenzielle Verbesserung oder Verringerung (*p* < .10)).

Abbildung 4-52 zeigt die Veränderungen der normalisierten Leistungs-Zeit-Kurven für die drei Trainingsgruppen und die Kontrollgruppe bei einer Testlast von 50% 1 RM. Für die Gruppe EST, MST und MSTex sind höhere Leistungswerte in der zweiten Hälfte der Leistungs-Zeit-Kurven erkennbar.
Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt keine Haupteffekte für den Faktor Gruppe. Innerhalb der Subjekte sind erwartungsgemäß bedeutsame Haupteffekte für die normalisierten Zeitwerte festzustellen (F(2.120, 86.909) = 424.169, p = .000, η^2_p = .912). Die Interaktion NormZeit*Messzeitpunkt zeigt einen bedeutsamen Interaktionseffekt (F(2.064, 84.644) = 2.084, p = .000, η^2_p = .048).

Die multivariaten Tests der geschätzten Randmittel identifizieren in der Gruppe MST zwischen 62% - 75% (F(1, 41) ≥ 4.635, p ≤ .037, η^2_p ≥ .102). sowie in der EST zwischen 80% - 87% (F(1, 41) ≥ 2.859, p ≤ .098, η^2_p ≥ .065) bedeutsame Unterschiede zwischen Pre- und Post-Test. Eine signifikante Verringerung der Leistungswerte zeigt die Leistungs-Zeit-Kurve für die MST zwischen 19% und 21% (F(1, 41) ≥ 4.709, p ≤ .036, η^2_p ≥ .103), wohingegen die Leistungswerte der KON zwischen 88% und 91% tendenziell höher sind (F(1, 41) ≥ 2.979, p ≤ .092, η^2_p ≥ .068, vgl. Abbildung 4-52).

Die paarweisen Vergleiche des Gruppenvergleichs identifizieren tendenziell höhere Leistungswerte der MSTex im Vergleich zur MST und KON zwischen 8% - 15% sowie zur EST zwischen 61% - 63%. Die KON offenbart tendenziell höhere Leistungswerte zwischen 91% - 94% im Vergleich zur MST (vgl. Abbildung 4-53).

Der a priori definierte Kontrast weist keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen auf (F(1, 41) = 0.001, p = .488, η^2_p = .000).

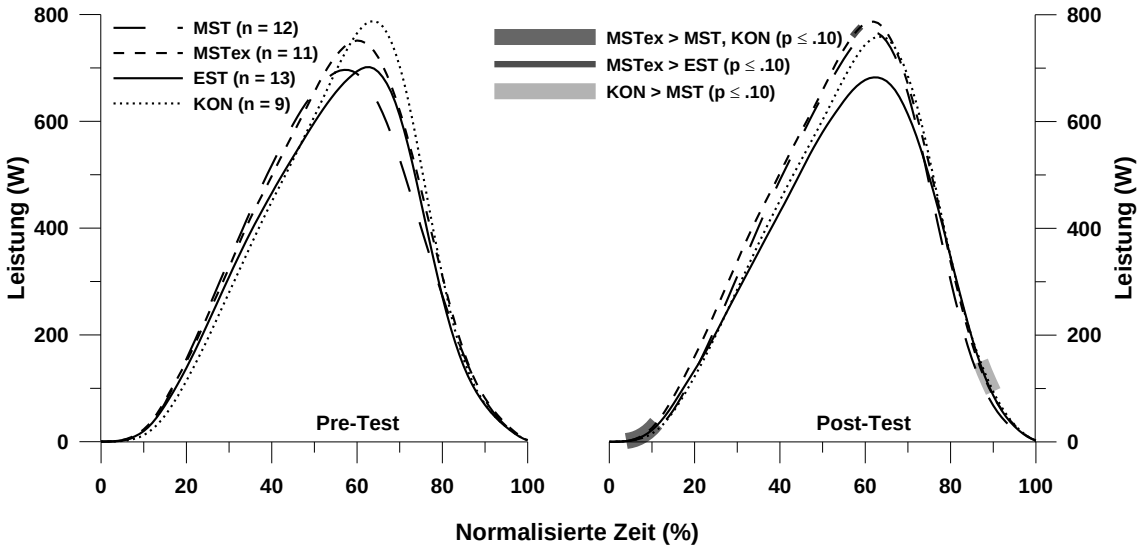

Abbildung 4-53: Vergleichende Leistungs-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM.

4.6.7 Maximale Geschwindigkeit (v_{max})

Abbildung 4-54 stellt die Veränderungen der maximalen Geschwindigkeit über den Interventionszeitraum dar. Alle Trainingsgruppen verbesserten sowohl bei 80% 1 RM (5% - 17%) als auch bei 50% 1 RM (1% - 4%) die v_{max}. Auffällig ist die Geschwindigkeitsverbesserung der KON bei der Testlast 50% 1 RM (3%).

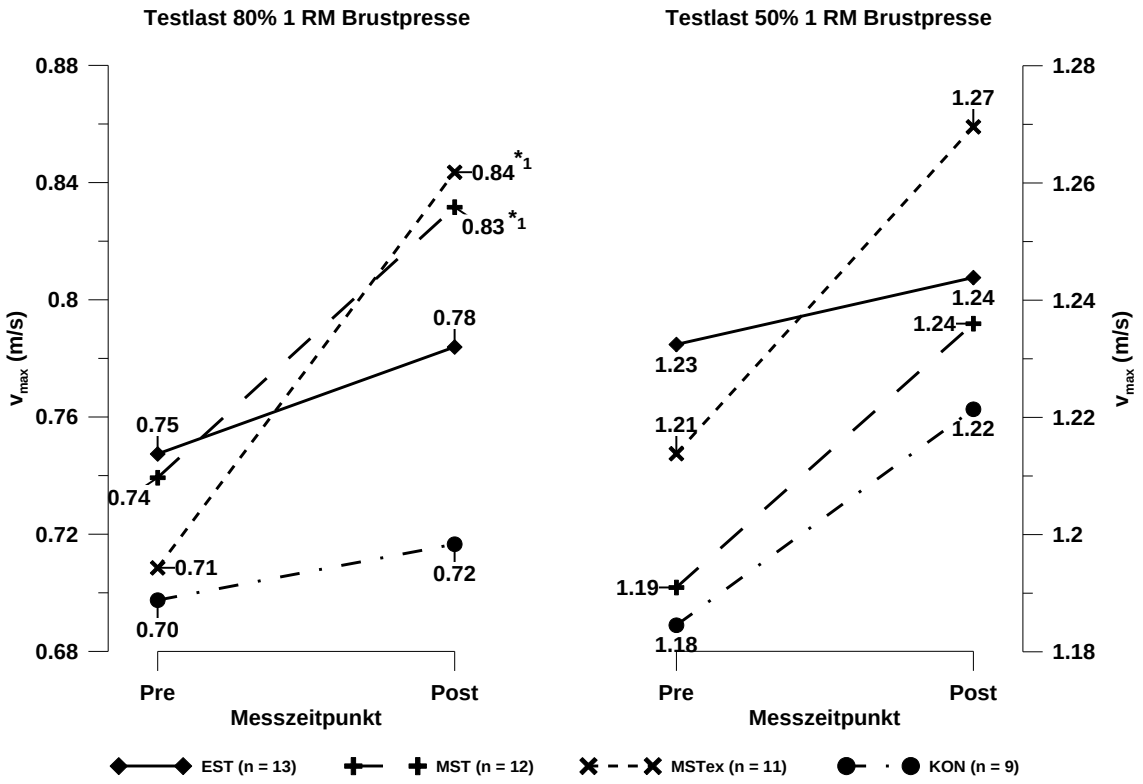

Abbildung 4-54: Veränderungen der Variable maximale Geschwindigkeit (v_{max}) über den Untersuchungszeitraum (*$_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung lässt keinen bedeutenden Haupteffekt der Gruppe erkennen. Der Faktor Messzeitpunkt zeigt signifikant höhere Geschwindigkeitswerte ($F(1, 41) = 7.822$, $p = .008$, $\eta^2_p = .160$) zum zweiten Messzeitpunkt (0.05 m/s, *KI*: 0.02 m/s - 0.09 m/s, $p = .008$), der Faktor Testlast ($F(1, 41) = 1427.310$, $p = .000$, $\eta^2_p = .972$) offenbart eine signifikant höhere v_{max} bei 50% 1 RM (0.47 m/s, *KI*: 0.44 m/s - 0.49 m/s, $p = .000$) für alle Gruppen. Die Interaktion Messzeitpunkt*Testlast weist einen signifikanten Effekt auf ($F(1, 41) = 4.518$, $p = .040$, $\eta^2_p = .099$). Bei einer Testlast von 80% 1 RM kommt es in allen Gruppen zu einer signifikanten Zunahme der v_{max} von 0.07 m/s (*KI*: 0.03 m/s - 0.11 m/s, $p = .001$), wohingegen die maximale Geschwindigkeit bei 50% 1 RM nur tendenziell (0.04 m/s, *KI*: -0.01 m/s - 0.08 m/s, $p = .094$) zunimmt. Die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel identifizieren diesen Effekt für die Gruppen MST (0.09 m/s, *KI*: 0.02 m/s - 0.17 m/s, $p = .020$) und MSTex (0.15 m/s, *KI*: 0.05 m/s - 0.22 m/s, $p = .002$) zwischen den ersten und zweiten Messzeitpunkt bei einer Testlast von 80% 1 RM. Der a priori definierte Kontrast offenbart keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 41) = 0.913$, $p = .173$, $\eta^2_p = .022$).

4.6.8 Maximale Geschwindigkeitsentwicklung (RVD_{max})

Abbildung 4-55 zeigt die Veränderungen der maximalen Geschwindigkeitsentwicklung (RVD_{max}) über den Untersuchungszeitraum. Bei einer Testlast von 80% 1 RM sind im Vergleich zu 50% 1 RM durchgehend höhere Verbesserungen aller Trainingsgruppen festzustellen (10% - 28% gegenüber 3% - 4%). Bei 50% 1 RM fällt die Verringerung der RVD_{max} in der Gruppe EST ins Auge (-1%).

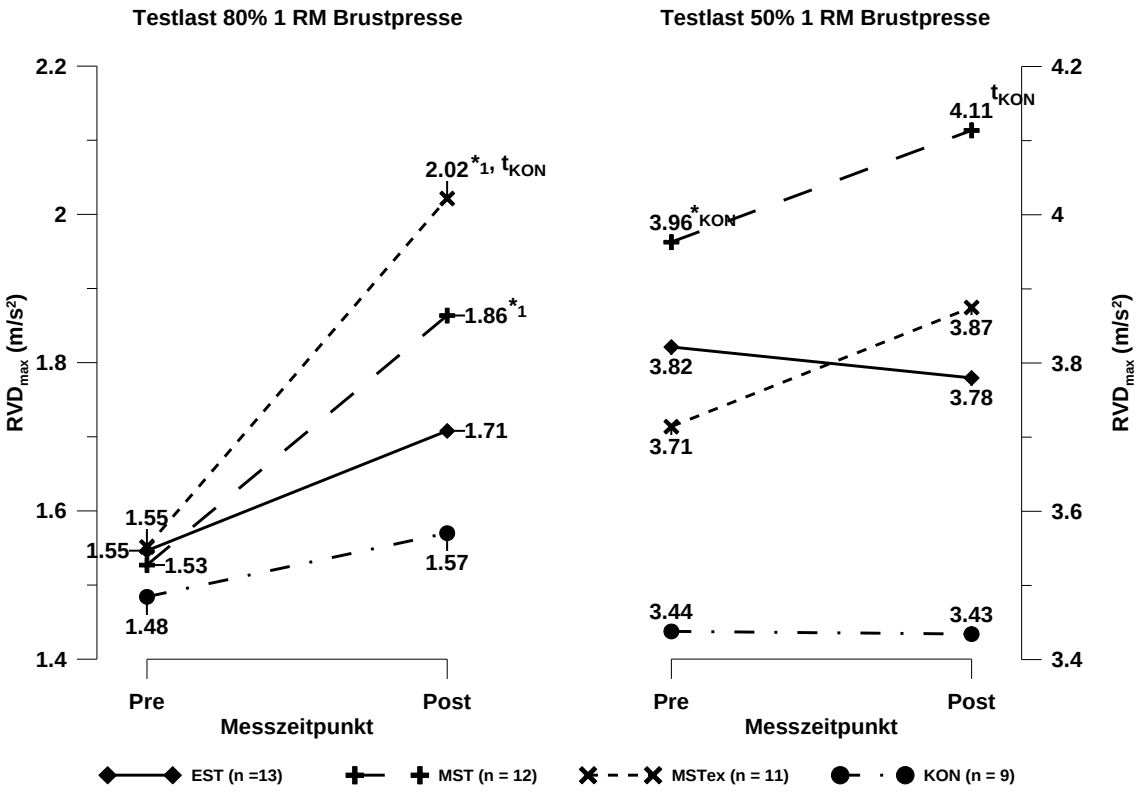

Abbildung 4-55: Veränderungen der Variable maximale Geschwindigkeitsentwicklung (RVD_{max}) für die Brustpresse über den Untersuchungszeitraum (t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$); *x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; EST, MST, MSTex oder KON entspricht den jeweiligen Gruppen).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt keinen Effekt für den Faktor Gruppe. Der Faktor Messzeitpunkt hat einen tendenziellen Einfluss auf die RVD_{max} ($F(1, 41) = 3.737$, $p = .060$, $\eta^2_p = .084$), der Faktor Testlast hat einen signifikanten Effekt ($F(1, 41) = 791.157$, $p = .000$, $\eta^2_p = .951$): die maximale Geschwindigkeitsentwicklung ist zu beiden Messzeitpunkten bei 50% 1 RM um 2.11 m/s² (*KI*: 1.96 m/s² - 2.26 m/s², $p = .000$) höher als bei 80% 1 RM. Der statistisch bedeutsame Interaktionseffekt von Messzeitpunkt*Testlast ($F(1, 41) = 4.621$, $p = .038$, $\eta^2_p = .101$) ist auf die signifikante Erhöhung der RVD_{max} bei 80% 1 RM zurückzuführen (0.26 m/s², *KI*: 0.13 m/s² - 0.40 m/s², $p = .000$), die maximale Geschwindigkeitsentwicklung ändert sich bei einer Testlast von 50% 1 RM nicht (0.07 m/s², *KI*: -0.18 m/s² - 0.31 m/s², $p = .583$).

Die paarweisen Vergleich der geschätzten Randmittel zeigen den signifikanten Innersubjekteffekt Messzeitpunkt bei 80% 1 RM zwischen den Messzeitpunkten in den Gruppen MST (0.38 m/s², *KI*: 0.08 m/s² - 0.59 m/s², $p = .011$) und MSTex (0.47 m/s², *KI*: 0.20 m/s² - 0.74 m/s², $p = .001$). Zum zweiten Messzeitpunkt offenbart sich bei 80% 1 RM ein tendenzieller Unterschied zwischen MSTex und KON (0.45 m/s², *KI*: -0.01 m/s² - 0.92 m/s², $p = .056$). Für die Testlast von 50% 1 RM zeigen sich signifikante höhere Geschwindigkeitsentwicklungswerte in der Gruppe MST im Vergleich zu KON bei Untersuchungsbeginn (0.53 m/s², *KI*: 0.02 m/s² - 1.03 m/s², $p = 0.41$) und eine tendenzieller Effekt zu Untersuchungsende (0.68 m/s², *KI*: -0.02 m/s² - 1.38 m/s², $p = .058$). Der a priori definierte Kontrast offenbart signifikant höhere maximale Geschwindigkeitsentwicklung der Trainingsgruppen gegenüber der Kontrollgruppe ($F(1, 41) = 3.942$, $p = .027$, $\eta^2_p = .088$).

4.6.9 Normalisierte Geschwindigkeits-Zeit-Kurve

Abbildung 4-56 zeigt die normalisierte Geschwindigkeit-Zeit Kurve bei 80% 1 RM.

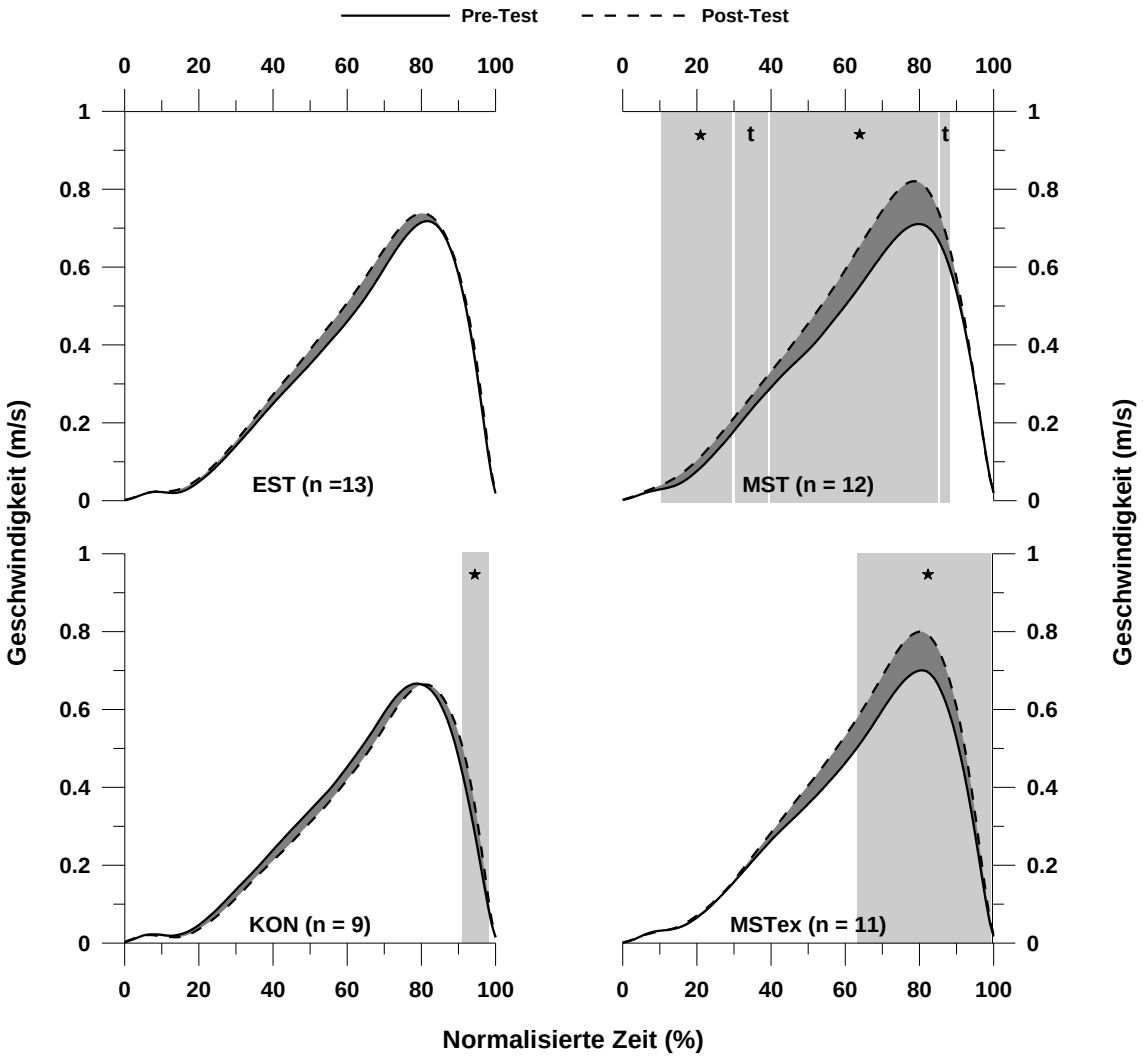

Abbildung 4-56: Normalisierte Geschwindigkeits-Zeit-Kurve der Testübung Brustpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 80% 1 RM (*, signifikante Verbesserung (*p* < .05); t, tendenzielle Verbesserung (*p* < .10)).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist für die Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM einen bedeutsamen Haupteffekt für den Faktor Normzeit auf (F(1.660, 68.062) = 485.476, p = .000, η^2_p = .922), d.h. die Kraftwerte unterscheiden sich im Verlauf der Kraft-Zeit-Kurve. Der ebenfalls bedeutsame Faktor Messzeitpunkt (F(1, 41) = 8.952, p = .005, η^2_p = .179) deutet auf Unterschiede zwischen dem Pre- und Post-Test hin. Darüber hinaus ist ein signifikanter Interaktionseffekt für Normzeit*Messzeitpunkt (F(2.265, 93) = 4.166, p = .015, η^2_p = .092) festzustellen.

Die paarweisen Vergleiche geschätzten Randmittel offenbaren hierfür bedeutsame Unterschiede zwischen 48% - 100% (F(1, 41) ≥ 4.245, p ≤ .046, η^2_p ≥ .094), die gruppenspezifisch Unterschiede aufweisen. Die MST zeigt über den gesamten Verlauf der normalisierten Geschwindigkeit-Zeit-Kurve tendenzielle (30% - 39%, 85% - 87%) bzw. statistisch bedeutsame Veränderungen (11% - 29%, 40% - 84%). Die MSTex weist bedeutsam höhere normalisierte Geschwindigkeitswerte zwischen 51% und 84% auf. In der KON sind für einen kleinen Bereich am Ende

der normalisierten Geschwindigkeits-Zeit-Kurve zwischen 91% - 98% bedeutsame Veränderungen zu erkennen (vgl. Abbildung 4-56).

Die geschätzten Randmittel offenbaren für den paarweisen Vergleich zwischen den Gruppen zum ersten Messzeitpunkt signifikant höhere normalisierte Geschwindigkeitswerte der EST im Vergleich zur KON (89% - 97%, vgl. Abbildung 4-57). Zum zweiten Messzeitpunkt sind in der MST bedeutsam höhere Geschwindigkeitswerte gegenüber der EST (11% - 22%) und der KON (9% - 68%) zu erkennen. Die MSTex zeigt zu Beginn (13% - 18%) und am Ende der Kurve (84% - 90%) tendenziell höhere Geschwindigkeitswerte als die KON.

Der a priori definierte Kontrast offenbart eine tendenziell höhere Geschwindigkeit der Trainingsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe ($F(1, 41) = 2.554$, $p = .059$, $\eta^2_p = .059$).

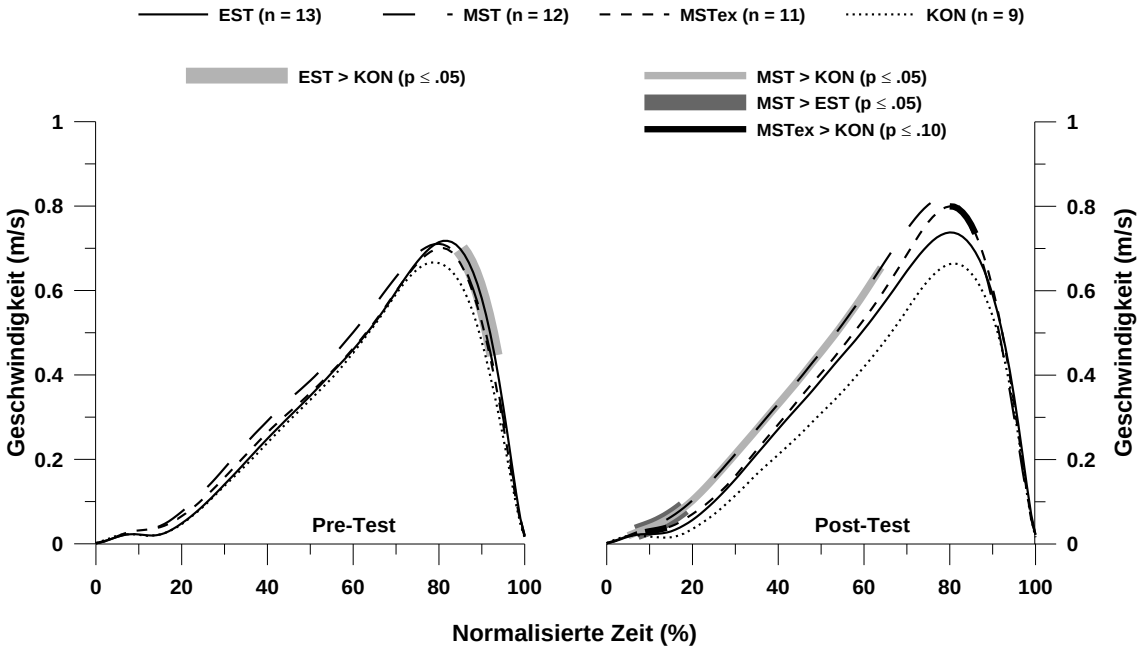

Abbildung 4-57: Vergleichende Geschwindigkeit-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist für die Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM einen bedeutsamen Haupteffekt für den Faktor Normzeit auf ($F(1.797, 73.687) = 860.202$, $p = .000$, $\eta^2_p = .955$), d.h. die Kraftwerte unterscheiden sich im Verlauf der Kraft-Zeit-Kurve. Des Weiteren zeigt sich ein bedeutsamer Innersubjekteffekt für den Faktor Messzeitpunkt ($F(1, 41) = 4.468$, $p = .041$, $\eta^2_p = .098$).

Mit Ausnahme der Interaktion von Normzeit*Messzeitpunkt ($F(2.264, 92.806) = 5.590$, $p = .004$, $\eta^2_p = .120$) sind die übrigen Interaktionseffekte bedeutungslos.

Die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel offenbaren hierfür bedeutsame Unterschiede zwischen 69% - 100% ($F(1, 41) \geq 4.108$, $p \leq .049$, $\eta^2_p \geq .091$), die gruppenspezifisch Unterschiede aufweisen (vgl. Abbildung 4-58). In der MST zeigen sich signifikant höhere Geschwindigkeitswerte zwischen 54% und 72% sowie 87% -100%. Die MSTex weist gegen Ende der normalisierten Geschwindigkeits-Zeit-Kurve (96% - 100%) bedeutsam höhere Geschwindigkeiten auf, in der KON findet sich ein solcher Bereich zwischen 49% und 52%.

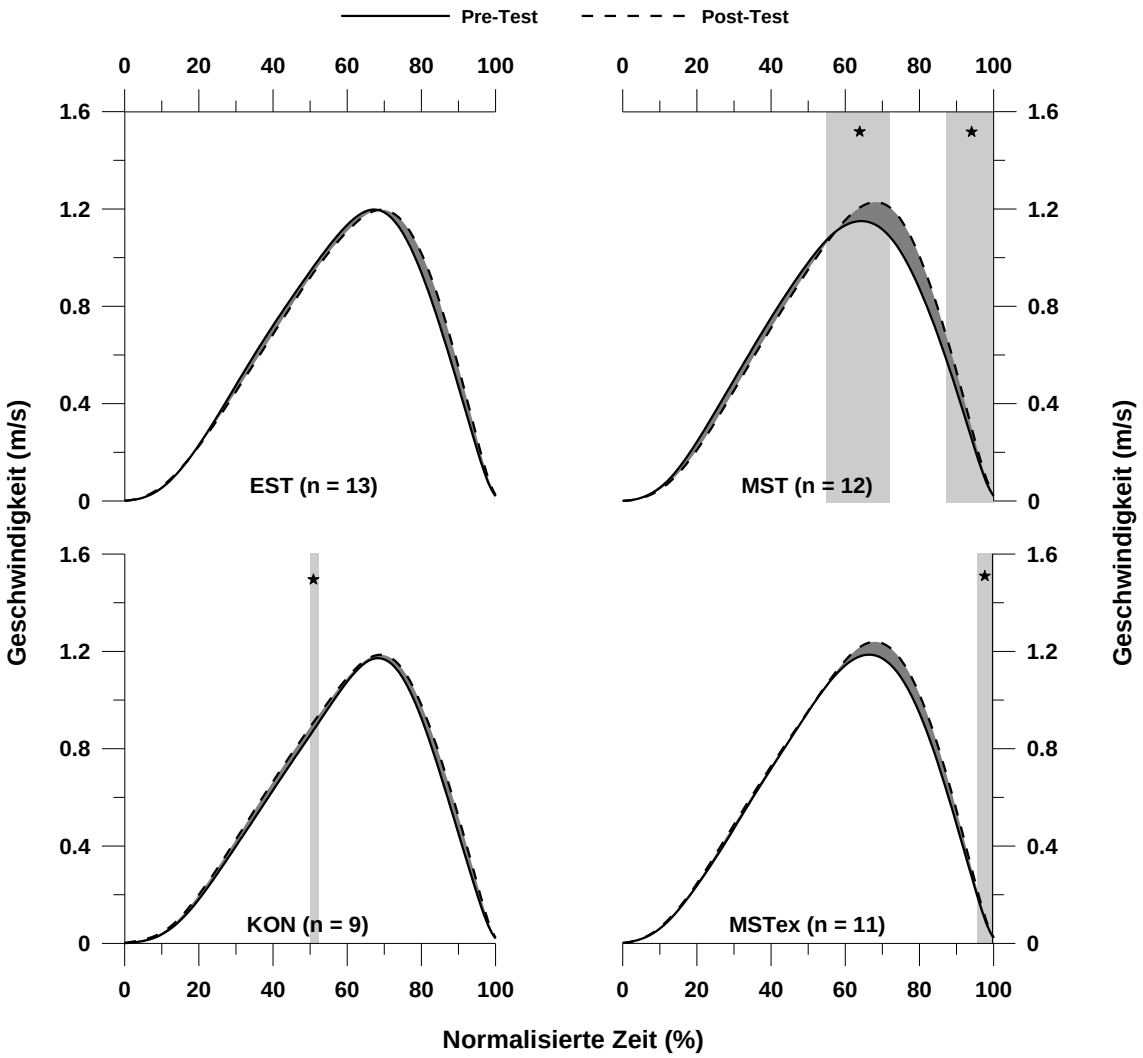

Abbildung 4-58: Normalisierte Geschwindigkeits-Zeit-Kurve der Testübung Brustpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 50% 1 RM (*, signifikante Verbesserung (*p* < .05)).

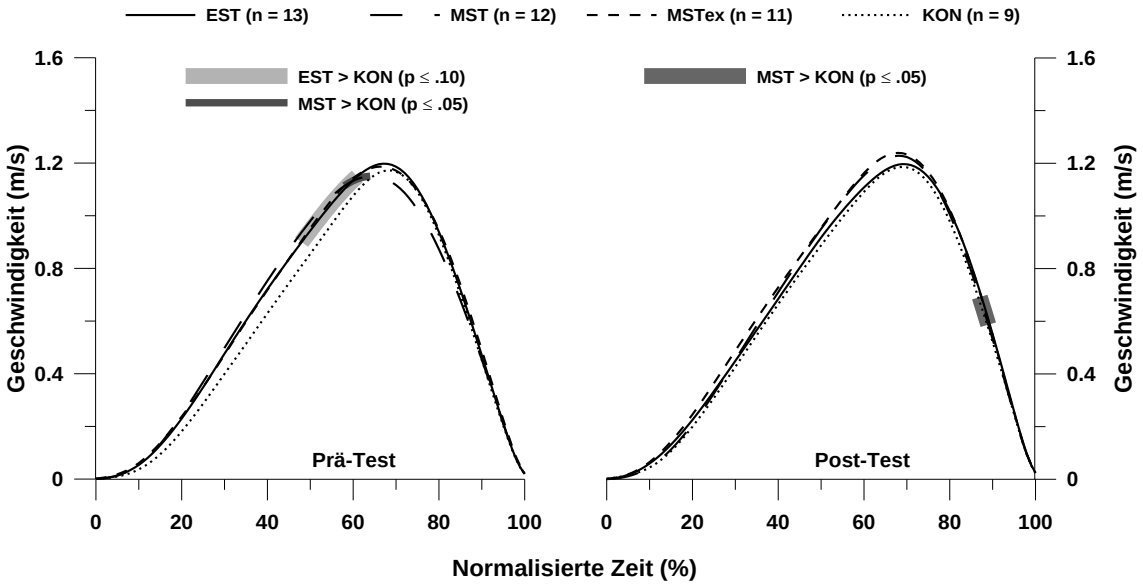

Abbildung 4-59: Vergleichende Geschwindigkeit-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM.

Zwischen den Gruppen weisen die paarweisen Vergleiche zum ersten Messzeitpunkt tendenziell höhere Geschwindigkeitswerte der EST im Vergleich zu KON zwischen 52% und 65% auf. Die MST offenbart signifikante Unterschiede zur KON (61% - 68%). Zum zweiten Messzeitpunkt sind ebenfalls höhere Geschwindigkeitswerte für die MST zum Ende der Geschwindigkeits-Zeit-Kurve im Vergleich zur KON festzustellen (91% - 93%, vgl. Abbildung 4-59).

Der a priori definierte Kontrast offenbart keine Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen ($F(1, 41) = 1.439$, $p = .119$, $\eta^2_p = .034$).

4.6.10 Dauer der konzentrischen Phase (DOCC)

Abbildung 4-60 zeigt die Veränderung der Dauer der konzentrischen Phase.

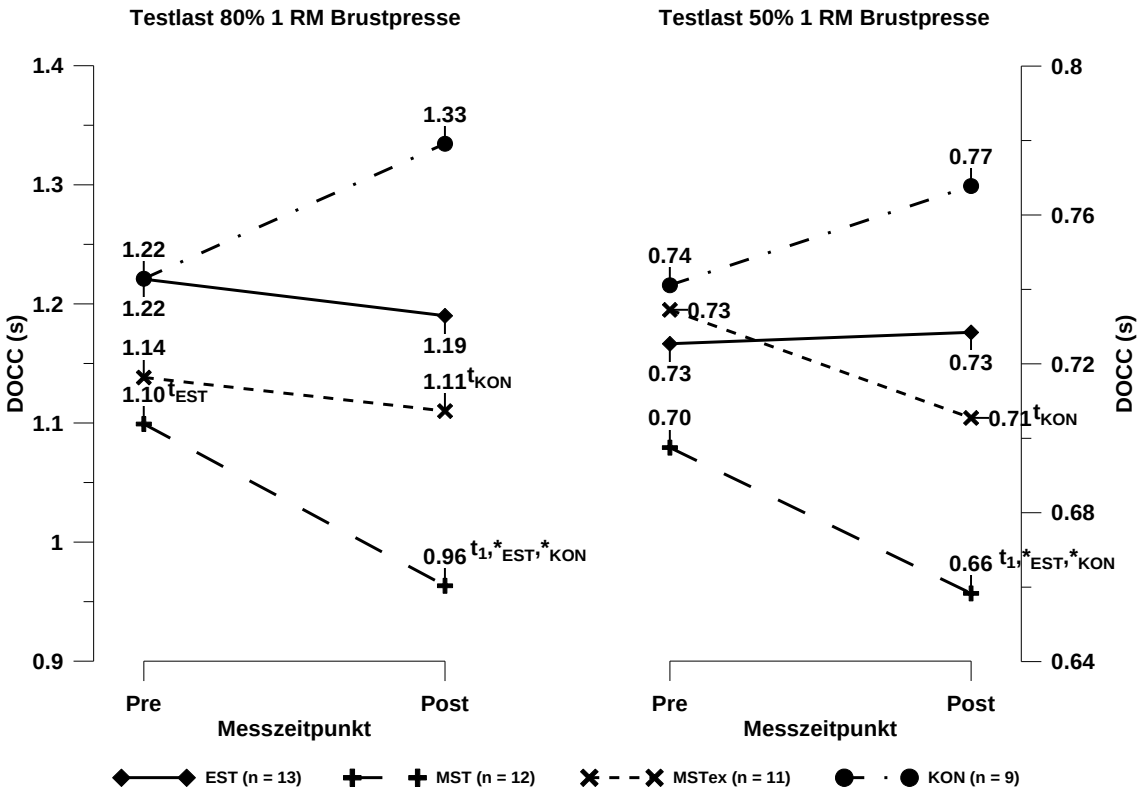

Abbildung 4-60: Veränderungen der Variable Dauer der konzentrischen Phase (DOCC) über den Untersuchungszeitraum für die Brustpresse (t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$); *x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; EST, MST, MSTex oder KON entspricht den jeweiligen Gruppen).

Bei beiden Testlasten verringert sich die DOCC in der MST (80% 1 RM, -12%; 50% 1 RM, -6%) und MSTex (80% 1 RM, -3%; 50% 1 RM, -4%), wohingegen sich die konzentrische Bewegungsdauer in der EST bei 80% 1 RM verringert (-2.5%) und bei 50% 1 RM (0.4%) zunimmt. Die DOCC der Kontrollgruppe nimmt bei beiden Testlasten zu (4% - 9%).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt einen signifikanten Effekt für den Faktor Gruppe ($F(3, 41) = 3.173$, $p = .034$, $\eta^2_p = .188$), die paarweisen Vergleiche zeigen insgesamt kürzere Bewegungszeiten in der MST im Vergleich zur KON (-0.16 sec., *KI*: -0.32 sec. bis -0.01 sec., $p = .035$). Der Faktor Testlast weist für alle Gruppen einen signifikanten Effekt ($F(1, 41) = 348.815$, $p = .000$, $\eta^2_p = .895$) mit einer kürzeren DOCC bei einer Testlast von 50% auf (-0.44 sec., *KI*: -0.49 sec. bis -0.39 sec., $p = .000$). Mit Ausnahme eines tendenziellen Interaktionseffekts von Testlast*Gruppe ($F(3, 41) = 2.522$, $p = .071$, $\eta^2_p = .156$) zeigen sich keine

weiteren bedeutsamen Interaktionseffekte. Die paarweisen Vergleich der geschätzten Randmittel zeigen bei 80% 1 RM eine tendenzielle Abnahme der DOCC für die Gruppe MST (- 0.14 sec., *KI*: -0.28 sec. - 0.01 sec., p = .062) zwischen den Messzeitpunkten. Der paarweise Vergleich von Messzeitpunkt und Gruppe offenbart eine tendenziell kürzere DOCC der Gruppe MST im Vergleich zur EST zum ersten Messzeitpunkt (-0.12 sec., *KI*: -0.27 sec. - 0.02 sec., p = .099). Zum zweiten Messzeitpunkt weist die MST eine signifikant kürzere DOCC im Vergleich zur EST (-0.28 sec., *KI*: -0.45 sec. bis -0.01 sec., p = .430) und zur KON (-0.37 sec., *KI*: -0.61 sec. bis -0.13 sec., p = .003) auf. Die MSTex zeigt eine tendenziell kürzere konzentrische Bewegungszeit als die KON (-0.22 sec., *KI*: -0.47 sec. - 0.02 sec., p = .072).

Die paarweisen Vergleiche für 50% 1 RM zeigen ähnliche Veränderungen der DOCC. Die Gruppe MST verkürzt ihre DOCC von Messzeitpunkt 1 zu 2 tendenziell (-0.04 sec., *KI*: -0.08 sec. bis 0.00 sec., p = .065). Zum zweiten Messzeitpunkt unterscheidet sich die MST signifikant von der EST (-0.07 sec., *KI*: -0.14 sec. - 0.00 sec., p = .039) und der KON (-0.11 sec., *KI*: -0.18 sec. bis -0.04 sec., p = .004). Die Gruppe MSTex weist einen tendenziellen Unterschied zur KON auf (-0.06 sec., *KI*: -0.14 sec. - 0.01 sec., p = .099). Der a priori definierte Kontrast offenbart eine signifikant kürzere Dauer der konzentrischen Phase in den Trainingsgruppen gegenüber der Kontrollgruppe ($F(1, 41) = 4.696$, p = .018, η^2_p = .103).

4.6.11 Zurückgelegter Gesamtweg (d_{max})

Bei den Testlasten 80% und 50% 1 RM nimmt in den Gruppen EST (2% bzw. 1%), MSTex (5% bzw. 1%) und KON (3% bzw. 9%) der zurückgelegte Gesamtweg (d_{max}) zu. Die Gruppe MST verzeichnet eine Reduktion (-2% bzw. -3%) des d_{max}. Insgesamt betrachtet ist der zurückgelegte Weg bei 50% 1 RM länger.

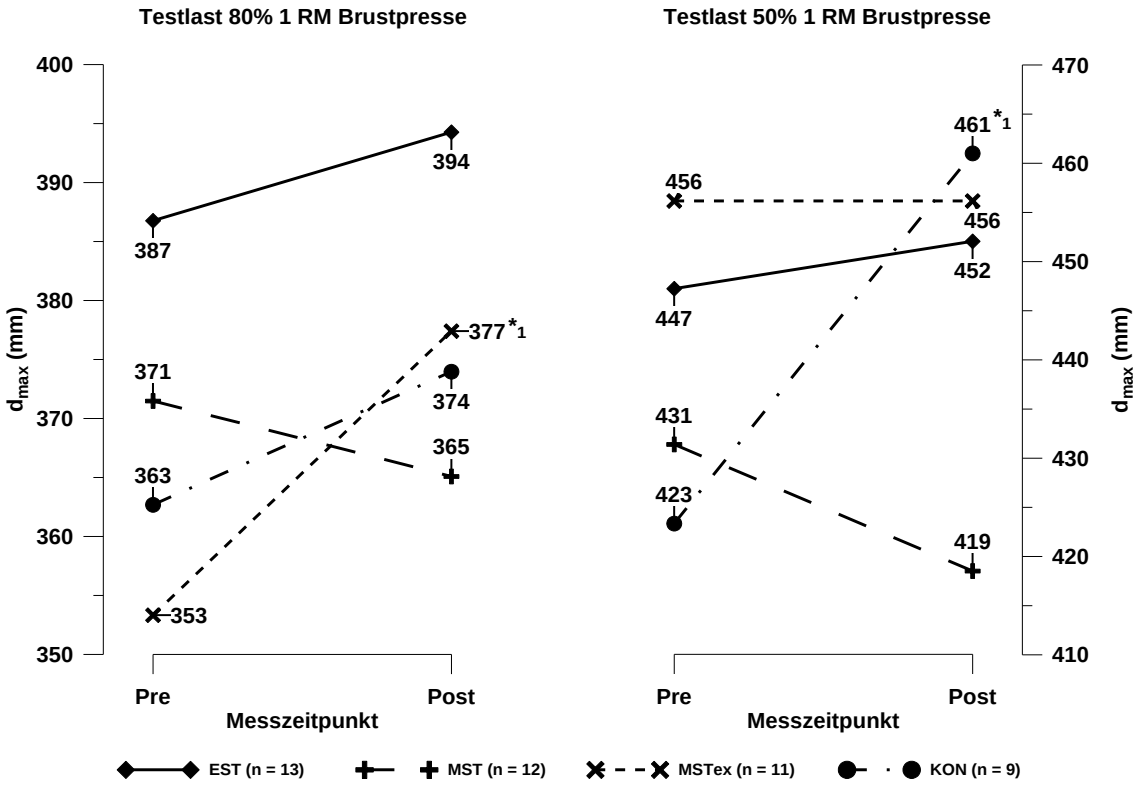

Abbildung 4-61: Veränderungen der Variable zurückgelegter Gesamtweg (d_{max}) über den Untersuchungszeitraum für die Brustpresse (*$_1$, signifikanter Unterschied zum Pre-Test ($p \leq .05$)).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt einen bedeutenden Effekt für den Faktor Testlast ($F(1, 41) = 241.976$, $p = .000$, $\eta^2_p = .855$), mit einem längeren Weg bei einer Testlast von 50% 1 RM (68.70 mm, *KI*: 59.78 mm - 77.62 mm). Einen tendenziell längeren zurückgelegten Gesamtweg zum zweiten Messzeitpunkt offenbart der Faktor Messzeitpunkt ($F(1, 41) = 3.626$, $p = .064$, $\eta^2_p = .081$; 9.68 mm, *KI*: -0.59 mm - 19.94 mm). Darüber hinaus zeigt sich ein tendenzieller Interaktionseffekt für Testlast*Gruppe ($F(3, 41) = 2.358$, $p = .086$, $\eta^2_p = .147$). Die weiteren Effekte sind bedeutungslos.

Die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel zeigen für 80% 1 RM einen signifikant längeren zurückgelegten Weg zum zweiten Messzeitpunkt für die Gruppe MSTex (24.08 mm, *KI*: 1.23 mm - 46.94 mm, $p = .039$) und für die Gruppe KON bei 50% 1 RM (37.65 mm, *KI*: 9.48 mm - 65.83 mm, $p = .010$).

Der a priori definierte Kontrast weist keinen längeren zurückgelegten Gesamtweg der Trainingsgruppen gegenüber der Kontrollgruppe ($F(1, 41) = 0.14$, $p = .453$, $\eta^2_p = .000$).

4.6.12 Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung (F_{Pmax})

Abbildung 4-62 zeigt die Veränderung der Momentankraft zum Zeitpunkt der maximalen momentanen Leistung (F_{Pmax}). Die Veränderung der F_{Pmax} ist bei beiden Testlasten identisch, die Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung ist bei 80% 1 RM höher. In den Gruppen EST und MST erhöht sich die F_{Pmax} um 1%. Auffällig ist die Verringerung in der Gruppe MSTex von -7% bei beiden Testlasten. In der Kontrollgruppe verringert sich die F_{Pmax} um 1% - 3%.

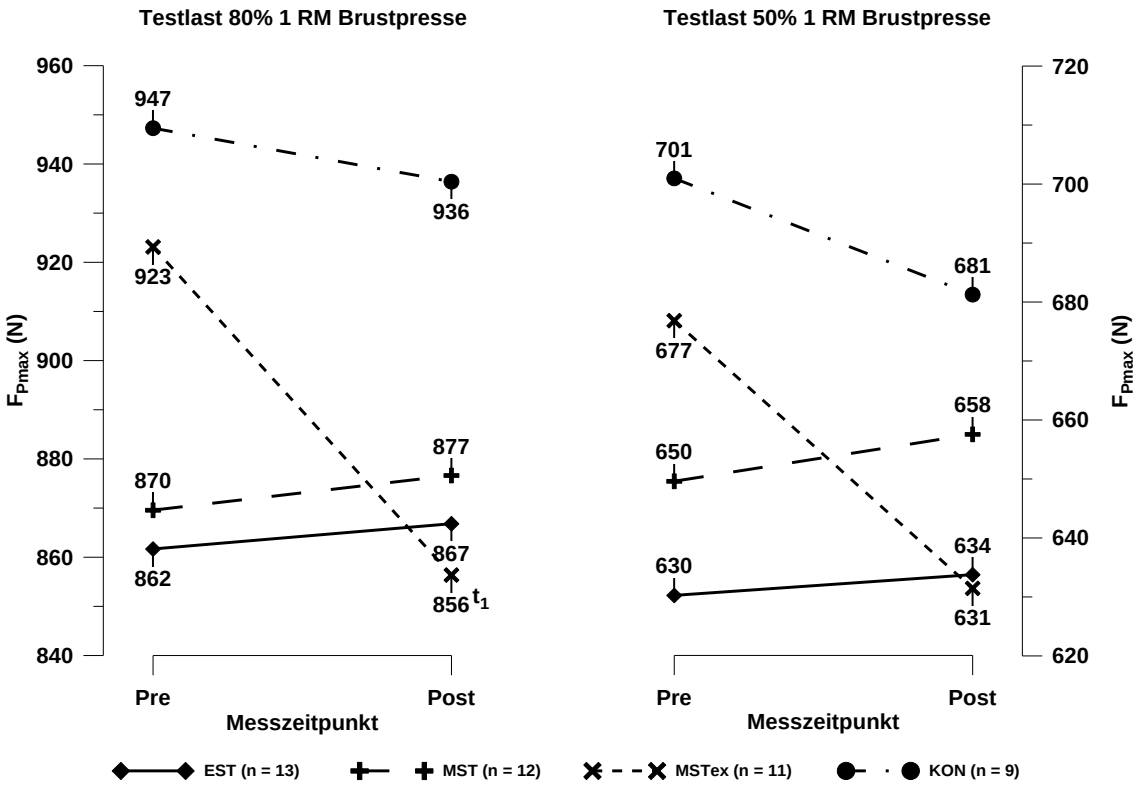

Abbildung 4-62: Veränderungen der Variable Momentankraft bei maximaler Leistung (F_{Pmax}) über den Untersuchungszeitraum für die Brustpresse (t_1, tendenzieller Unterschied zum Pre-Test ($p \leq .10$)).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt mit Ausnahme der Testlast ($F(1, 41) = 810.809$, $p = .000$, $\eta^2_p = .951$) keine bedeutsamen Haupt- und Interaktionseffekte. Die erreichte

Momentankraft bei maximaler Leistung ist bei 80% 1 RM signifikant höher (234.52 N, *KI*: 217.89 N - 251.14 N, p = .000).

Die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel weisen eine tendenzielle Verringerung der F_{Pmax} in der MSTex vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt bei einer Testlast von 80% 1 RM auf (66.75 N, *KI*: -144.27 N - 10.78 N, p = .090).

Der a priori definierte Kontrast offenbart keine höhere Momentankraft zum Zeitpunkt der maximalen momentanen Leistung der Trainingsgruppen gegenüber der Kontrollgruppe (F(1, 41) = 1.197, p = .140, η^2_p = .028).

4.6.13 Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax})

Die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}) zeigt bei 80% und 50% 1 RM für die KON (Zunahme von 14% bzw. 5%) und MSTex (Abnahme von 1%) die gleichen Tendenzen. Die EST reduziert bei einer Testlast von 80% die t_{vmax} (-3%), wohingegen sie sich bei 50% 1 RM verlängert (5%). Die MST weist bei 80% 1 RM ebenfalls eine verkürzte Zeitdauer bis v_{max} auf (-13%), bei einer Testlast von 50% verringert sich die Zeitspanne minimal (-1%).

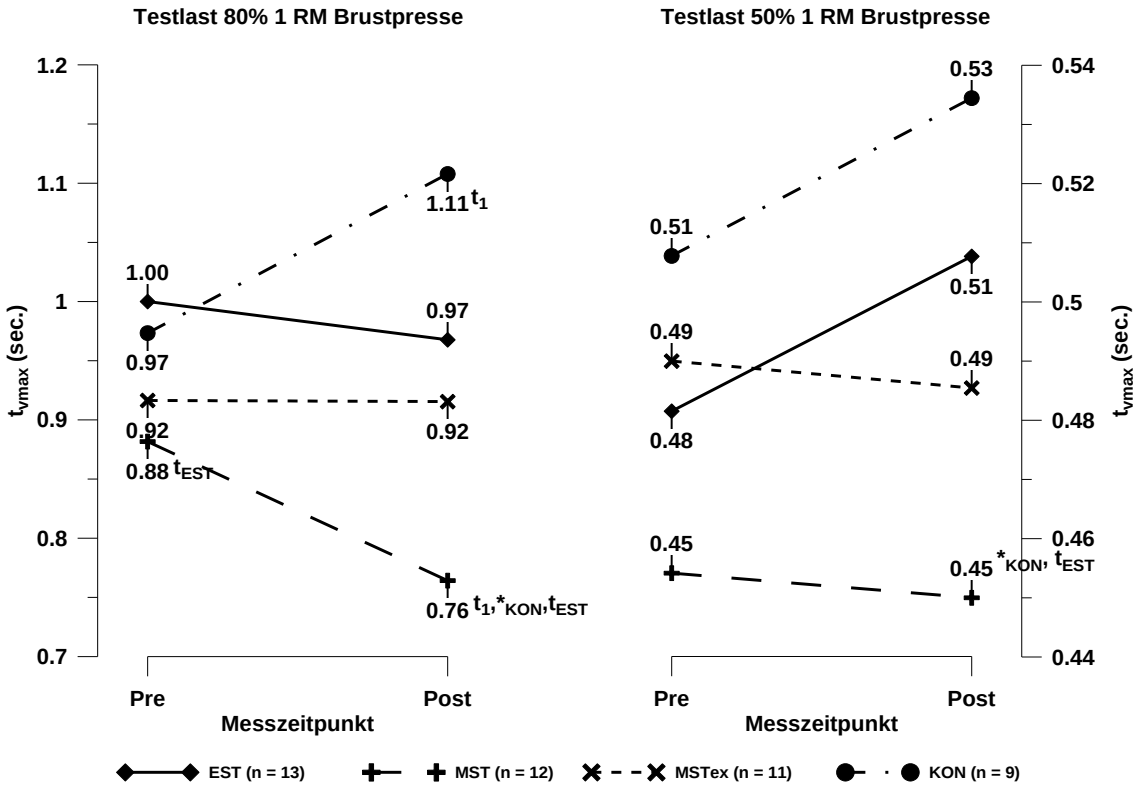

Abbildung 4-63: Veränderungen der Variable Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}) über den Untersuchungszeitraum für die Brustpresse (t_x, tendenzieller Unterschied (p ≤ .10); *x, signifikanter Unterschied (p ≤ .05); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; EST, MST, MSTex oder KON entspricht den jeweiligen Gruppen).

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt einen tendenziellen Effekt für den Faktor Gruppe (F(3, 41) = 2.647, p = .062, η^2_p = .162). Die paarweisen Vergleiche zeigen für beide Testlasten eine kürzere Zeit bis zum Erreichen der t_{vmax} für die MST im Vergleich zur KON (-0.14 sec., *KI*: -0.29 sec. - .01 sec., p = .069). Der Faktor Testlast weist einen signifikanten Effekt auf (F(1, 41) = 382.770, p = .000, η^2_p = .903), die t_{vmax} ist bei einer Testlast von 50% 1 RM

schneller erreicht (0.45 sec., *KI*: 0.41 sec. - 0.50 sec.). Die weiteren Faktoren weisen keine bedeutsamen Effekte auf.

Die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel zeigen bei 80% 1 RM vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt eine tendenzielle Reduktion der Zeitdauer bis v_{max} für die Gruppe MST (-0.12 sec., *KI*: -0.26 sec. - 0.02 sec., p = .096) und eine tendenziell Zunahme der t_{vmax} für die Gruppe KON (.013 sec., *KI*: -0.03 sec. - 0.30 sec., p = .099). Die paarweisen Vergleiche der Gruppen weisen zum ersten Messzeitpunkt eine tendenzielle kürzere t_{vmax} der MST im Vergleich zur EST auf (-0.12 sec., *KI*: -0.25 sec. - .02 sec., p = .087). Zum zweiten Messzeitpunkt offenbart die MST eine tendenziell kürzere Zeitdauer bis zur v_{max} als die EST (-0.20 sec., *KI*: -0.42 sec. - 0.02 sec., p = .068) bzw. eine signifikant kürzere t_{vmax} als die KON (-0.34 sec., *KI*: -0.59 sec. - -0.10 sec., p = .006). Bei einer Testlast von 50% 1 RM zeigen sich zum zweiten Messzeitpunkt eine tendenziell kürzer t_{vmax} für die MST im Vergleich zur EST (-0.06 sec., *KI*: -0.12 sec. - 0.01 sec., p = .066) bzw. signifikant kürzere Zeitwerte der MST gegenüber der KON (-0.08 sec., *KI*: -0.15 sec. - -0.02 sec., p = .034).

Der a priori definierte Kontrast offenbart eine signifikant kürzere Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit der Trainingsgruppen gegenüber der Kontrollgruppe ($F(1, 41) = 3.684$, $p = .031$, $\eta^2_p = .082$).

4.6.14 Hypothesenbesprechung und Diskussion

Tabelle 4-15 fasst die Ergebnisse der Messwiederholung für die Variablen der muskulären Leistung kurz zusammen. Die Messwiederholung zeigt für die DOCC einen signifikanten und für die t_{vmax} einen tendenziellen Zwischensubjekteffekt auf.

Tabelle 4-15: Ergebniszusammenfassung der Messwiederholung der Testübung Brustpresse für die Variablen der muskulären Leistung.

Maß	Zwischen-subjekteffekte	Innersubjekteffekte						a priori Kontraste[1)]
	Gruppe	Mess	Mess* Gruppe	Last	Last* Gruppe	Mess* Last	Mess*Last* Gruppe	
relPre	ns	ns	ns	≤ .01	ns	ns	ns	ns
F_{max}	ns	ns	ns	≤ .001	≤ .10	ns	ns	ns
RFD_{max}	ns	ns	ns	≤ .05	ns	ns	≤ .05	ns
P_{max}	ns	≤ .05	ns	≤ .001	ns	≤ .05	ns	ns
RPD_{max}	ns	≤ .10	ns	≤ .001	ns	≤ .05	ns	ns
v_{max}	ns	≤ .01	ns	≤ .001	ns	≤ .05	ns	ns
RVD_{max}	ns	≤ .10	ns	≤ .001	ns	≤ .05	ns	≤ .05
DOCC	≤ .05	ns	ns	≤ .001	≤ .10	ns	ns	≤ .05
F_{Pmax}	ns	ns	ns	≤ .001	ns	ns	ns	ns
t_{vmax}	≤ .10	ns	ns	≤ .001	ns	ns	ns	≤ .05
d_{max}	ns	≤ .10	ns	≤ .001	≤ .10	ns	ns	ns

[1)], EST, MST, MSTex vs. KON; ≤ …, p-Wert; Last, Testlast; Mess, Messzeitpunkt; ns, nicht signifikant.

Der Innersubjektfaktor Testlast hat für alle Variablen einen statistisch bedeutenden Einfluss. Innersubjekteffekte des Faktors Messzeitpunkt sind darüber hinaus für die geschwindigkeitsabhängigen Variablen P_{max}, RPD_{max}, v_{max} und RVD_{max} festzustellen. Die signifikante Interaktion von Messzeitpunkt*Last offenbart, dass die geschwindigkeitsabhängigen Effekte lastspezifisch

sind und in den Gruppen MST und MSTex bei einer Testlast von 80% 1 RM auftreten (Tabelle 4-15). Wie in Tabelle 4-5 dargestellt, weisen beide Gruppen in der Brustpresse Trainingslasten auf, die der Testlast von 80% 1 RM entsprachen. Die a priori definierten Kontraste offenbaren signifikant höhere maximale Geschwindigkeitsentwicklungswerte, eine kürzere Dauer der konzentrischen Phase sowie eine kürzere Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit der Trainingsgruppen gegenüber der Kontrollgruppe.

Tabelle 4-16 gibt einen detaillierten zusammenfassenden Überblick über die Veränderungen der Variablen der muskulären Leistung in der Testübung Brustpresse. Der Gruppenvergleich zu den einzelnen Messzeitpunkten stellt die Ergebnisse aus der Sicht der Verbesserungen dar; auf die redundante Darstellung der Verschlechterungen wird verzichtet.

Auffällig ist, dass die Gruppe EST keinen Unterschied der Variablen zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt aufweist. Die Gruppen MST und MSTex offenbaren bei 80% mehrere tendenzielle und signifikante Verbesserungen der geschwindigkeits- und zeitabhängigen Schnellkraftvariablen. Bei 50% sind lediglich eine tendenzielle und eine signifikante Veränderungen zu beobachten. Unter Berücksichtigung der Spannungshöhe im Training (Tabelle 4-5) kann eindeutig von einer lastspezifischen Anpassung gesprochen werden. Die Kontrollgruppe weist zwischen beiden Messzeitpunkten eine signifikante Verlängerung des d_{max} bei 50% 1 RM sowie eine tendenzielle Erhöhung der t_{vmax} bei 80% 1 RM auf.

Zum ersten Messzeitpunkt zeigen sich zwei tendenzielle (MST gegenüber EST, DOCC und t_{vmax} bei 80% 1 RM) und ein bedeutender Unterschied (MST gegenüber KON, RVD_{max} 50% 1 RM). Unter diesem Gesichtspunkt ist die Parallelisierung der Gruppen gelungen.

Die Unterschiede zwischen den Gruppen zum zweiten Messzeitpunkt zeigen für die MST bei beiden Testlasten bedeutende und tendenzielle Verbesserungen gegenüber der EST und KON.

Die MSTex zeigt ebenfalls tendenzielle und signifikante Unterschiede zur EST und KON, wobei die Unterschiede bei den kraft- und geschwindigkeitsabhängigen Variablen auftreten; darüber hinaus sind bedeutsame (RFD_{max} 50%) und tendenzielle (RPD_{max} 80%) Verbesserungen gegenüber der MST zu erkennen. Die EST weist bei keiner der Variablen der muskulären Leistung eine höhere Steigerung als die anderen Gruppen auf.

Tabelle 4-16: Zusammenfassender Überblick der Veränderungen der Variablen der muskulären Leistung für die Testübung Brustpresse bei den Testlasten 80% und 50% 1 RM.

	Unterschiede innerhalb der Gruppen zwischen Messzeitpunkt 1 und 2				Messzeitpunkt 1 zwischen den Gruppen				Messzeitpunkt 2 zwischen den Gruppen				mittlere Differenzen innerhalb der Gruppen zwischen Testlast 80% und 50% 1 RM
	EST	MST	MSTex	KON	EST	MST	MSTex	KON	EST	MST	MSTex	KON	
F_{max} 80%	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	T1 und T2: 80% 1 RM ↑ ≤ .001 als 50% 1 RM
F_{max} 50%	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
RFD_{max} 80%	ns	ns	↑ ≤ .10	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	↑ EST, ≤ .10	ns	T1: kein Unterschied T2: 80% 1 RM MST ↑ ≤ .05
RFD_{max} 50%	ns	ns	↑ ≤ .01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	↑ EST, MST, KON ≤ .05	ns	
P_{max} 80%	ns	↑ ≤ .05	↑ ≤ .01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	↑ EST, ≤ .05 ↑ KON, ≤ .10	ns	T1 und T2: 50% 1 RM ↑ ≤ .001 als 80% 1 RM
P_{max} 50%	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
RPD_{max} 80%	ns	↑ ≤ .10	↑ ≤ .01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	↑ EST, KON, ≤ .05 ↑ MST, ≤ .10	ns	T1 und T2: 50% 1 RM ↑ ≤ .001 als 80% 1 RM
RPD_{max} 50%	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
v_{max} 80%	ns	↑ ≤ .05	↑ ≤ .01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	T1 und T2: 50% 1 RM ↑ ≤ .001 als 80% 1 RM
v_{max} 50%	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
RVD_{max} 80%	ns	↑ ≤ .05	↑ ≤ .01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	↑ KON, ≤ .10	ns	T1 und T2: 50% 1 RM ↑ ≤ .001 als 80% 1 RM
RVD_{max} 50%	ns	ns	ns	ns	ns	↑ KON, ≤ .05	ns	ns	ns	↑ KON, ≤ .10	ns	ns	
DOCC 80%	ns	↓ ≤ .10	ns	ns	ns	↓ EST, ≤ .10	ns	ns	ns	↓ EST, ≤ .05, ↓ KON, ≤ .01	↓ KON, ≤.10	ns	T1 und T2: 50% 1 RM ↓ ≤ .001 als 80% 1 RM
DOCC 50%	ns	↓ ≤ .10	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	↓ EST, ≤ .05, ↓ KON, ≤ .01	↓ KON, ≤.10	ns	
d_{max} 80%	ns	ns	↑ ≤ .05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	T1 und T2: 50% 1 RM ↑ ≤ .001 als 80% 1 RM
d_{max} 50%	ns	ns	ns	↑ ≤ .05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
F_{Pmax} 80%	ns	ns	↓ ≤ .10	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	T1 und T2: 80% 1 RM ↑ ≤ .001 als 50% 1 RM
F_{Pmax} 50%	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
t_{vmax} 80%	ns	↓ ≤ .10	ns	↑ ≤ .10	ns	↓ EST, ≤ .10	ns	ns	ns	↓ EST, ≤ .10, ↓ KON, ≤ .05	ns	ns	T1 und T2: 50% 1 RM ↓ ≤ .001 als 80% 1 RM
t_{vmax} 50%	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	↓ EST, ≤ .10, ↓ KON, ≤ .05	ns	ns	

F_{max}, maximale Kraft; RFD_{max}, maximale momentane Kraftentwicklung; P_{max}, maximale Leistung; RPD_{max}, maximale momentane Leistungsentwicklung; v_{max}, maximale Geschwindigkeit; RVD_{max}, maximale Geschwindigkeitsentwicklung; DOCC, Dauer der konzentrischen Phase; d_{max}, zurückgelegter Gesamtweg; F_{Pmax}, Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung; T1, Messzeitpunkt 1; T2, Messzeitpunkt 2; t_{vmax}, Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit; ↑, Zunahme und *p*-Wert; ↓, Abnahme und *p*-Wert; ns, nicht signifikant.

Die mittlere Differenz zwischen den Testlasten zeigt für die F_{max} und die F_{Pmax} höhere Werte bei 80% 1 RM in allen Gruppen. Die Variablen der Leistung, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Zeit und Weg weisen höhere Werte in allen Gruppen bei 50% 1 RM auf. Eine Ausnahme bildet die RFD_{max}: hier sind zum ersten Messzeitpunkt keine Unterschiede zwischen beiden Testlasten festzustellen, zum zweiten Messzeitpunkt weist die MST eine höhere Kraftentwicklung bei 80% im Vergleich zu 50% 1 RM auf. Somit stellt die RFD_{max} in der MST die einzige Variable dar, bei der entsprechend der Trainingslast (74% 1 RM) spezifische höhere Verbesserungen bei einer äquivalenten Testlast (80% 1 RM) im Vergleich zur geringeren Testlast auftreten.

Die Überprüfung der muskulären Leistung in der Testübung Brustpresse erfolgt auf Basis von drei Hypothesen:

$H_1$5: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit intendiert-explosiver (MSTex) Bewegungsausführung führt zu höheren Schnellkraftwerten als ein Krafttraining mit a) kontrolliert-zügiger (MST) und b) langsamer (EST) Bewegungsausführung.

$H_1$6: Ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) kontrolliert-zügiger (MST) und b) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt zu gleich hohen Schnellkraftwerten.

$H_1$7: Im Anschluss an ein 6-wöchiges Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung zeigen die jeweiligen Trainingsgruppen gegenüber einer nicht spezifisch trainierenden Kontrollgruppe höhere Schnellkraftwerte.

zu $H_1$5:

Die $H_1$5 ist für die RFD_{max} bei 50% 1 RM uneingeschränkt anzunehmen. Die MSTex zeigt signifikant höhere RFD_{max} Werte zum zweiten Messzeitpunkt als die EST und MST. Die MSTex weist in den Leistungsvariablen P_{max} und RPD_{max} signifikant höhere Werte gegenüber der EST im Post-Test auf, statistisch bedeutsame Unterschiede zur MST sind nicht zu erkennen. Somit ist die $H_1$5 nur für den Vergleich mit der EST anzunehmen, für die MST wird die $H_0$5 beibehalten. Für die weiteren Variablen der muskulären Leistung ist die $H_0$5 beizubehalten.

zu $H_1$6:

Die EST und MST zeigen mit Ausnahme der DOCC bei einer Testlast von 80% und 50% 1 RM keine bedeutsamen Unterschiede. Somit ist für die Variable DOCC die $H_0$6 beizubehalten, für alle anderen Variablen der muskulären Leistung wird die $H_1$6 angenommen.

zu $H_1$7:

Die EST zeigt keine statistisch bedeutsamen Veränderungen gegenüber der KON, die $H_0$7 ist für alle Variablen beizubehalten. Die Zeitvariablen DOCC und t_{vmax} sind in der MST gegenüber der KON zum zweiten Messzeitpunkt signifikant verringert. Somit wird die $H_1$7 für diese Variablen der muskulären Leistung angenommen, für die weiteren Variablen wird die $H_0$7 beibehalten. Die MSTex offenbart eine signifikant höhere RFD_{max} bei 50% 1 RM sowie eine signifikant höhere RPD_{max} bei 80% 1 RM gegenüber der KON. Die $H_1$7 wird für diese Vergleiche angenommen, für alle anderen Variablen der muskulären Leistung wird die $H_0$7 beibehalten.

Den Verbesserungen in den Variablen der muskulären Leistung können morphologische und neuronale Anpassungen zugrunde liegen. Die vorliegenden Daten der Testübung Brustpresse zeigen eine eindeutige lastspezifische Verbesserung der beiden Mehrsatz-Trainingsgruppen bei 80% 1 RM bezüglich der geschwindigkeitsabhängigen Variablen der muskulären Leistung. Wie in Abbildung 4-64 und Abbildung 4-65 zu erkennen, sind deutlich höhere Effekte der P_{max}, RPD_{max}, v_{max} und RVD_{max} bei 80% 1 RM im Vergleich zu 50% 1 RM zu erkennen. Dies unterstreicht die Bedeutung der koordinativen Anpassungen im Krafttraining (Enoka, 2008) und bestätigt die klassische Theorie der Geschwindigkeitsspezifität, basierend auf isokinetisch gewonnenen Forschungsergebnissen (vgl. Dvir, 2004; Brown & Brown, 2000; Morrissey et al., 1995; Baltzopoulos & Brodie, 1989; Bell & Wenger, 1992).

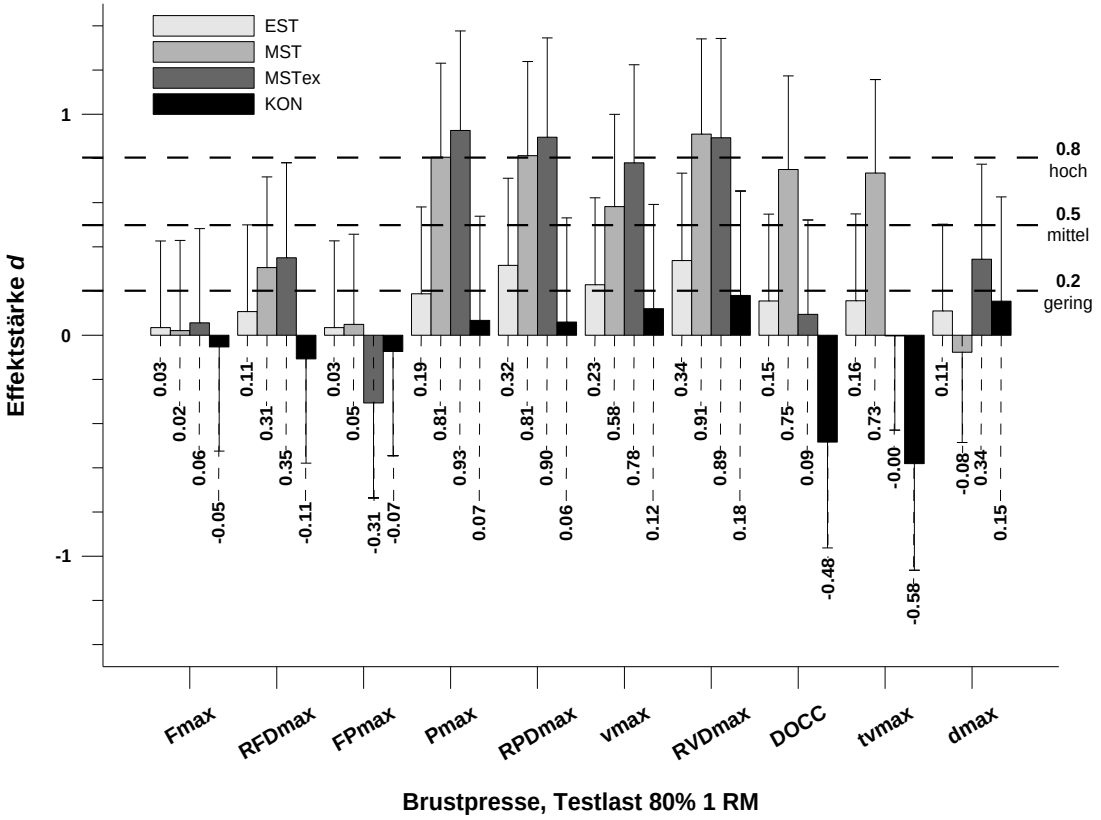

Abbildung 4-64: Klassische Effektstärke *d* der Variablen der muskulären Leistung der Testübung Brustpresse in den Trainingsgruppen und in der Kontrollgruppe bei einer Testlast von 80% 1 RM (vertikale Balken stellen das 95%ige Konfidenzintervall dar, die horizontalen Linien markieren die unterschiedliche Bedeutsamkeit der Effekte).

Unter Berücksichtigung der identischen Maximalkraftverbesserungen der drei Trainingsgruppen hat die intendiert-explosive Bewegungsausführung zu keinen größeren neuronalen Adaptationen als eine kontrolliert-zügige Bewegungsausführung geführt. Der Übertrag der lastspezifischen Adaptationen auf die leichtere Testlast von 50% 1 RM ist mit Ausnahme der RFD_{max} in der MSTex statistisch unbedeutend.

Ein langsame Bewegungsausführung (EST) führt trotz morphologischer Adaptationen (quantifiziert über die Maximalkraft) weder bei annähernd spezifischen (50%) noch unspezifischen (80%) Testlasten zu Veränderungen der Variablen der muskulären Leistung. Hierfür können fehlende neuronale Adaptation durch a) die langsame Bewegungsausführung und b) das geringere Trainingsvolumen verantwortlich gemacht werden. Auf Basis dieser Befunde kann ein

entscheidender Einfluss der Maximalkraft für die lastspezifischen Effekte der MST und MSTex ausgeschlossen werden.

Hinsichtlich einer möglichen Änderung der Muskelfaserzusammensetzung ist auf Basis der Literaturbefunde davon auszugehen, dass alle drei Trainingsmethoden zu einer Faserverschiebung zum MHC IIa Fasertyp geführt haben (Andersen & Aagaard, 2000; Folland & Williams, 2007; Harridge, 2007). Dies gilt es bei der Interpretation der Variablen der muskulären Leistung zu berücksichtigen. Die Abnahme der MHC IIx scheint dabei keinen negativen Einfluss auf die Kraftzunahme zu haben (Carroll et al., 1998), was die hier gefundenen Maximalkraftzunahmen in allen drei Trainingsgruppen erklärt.

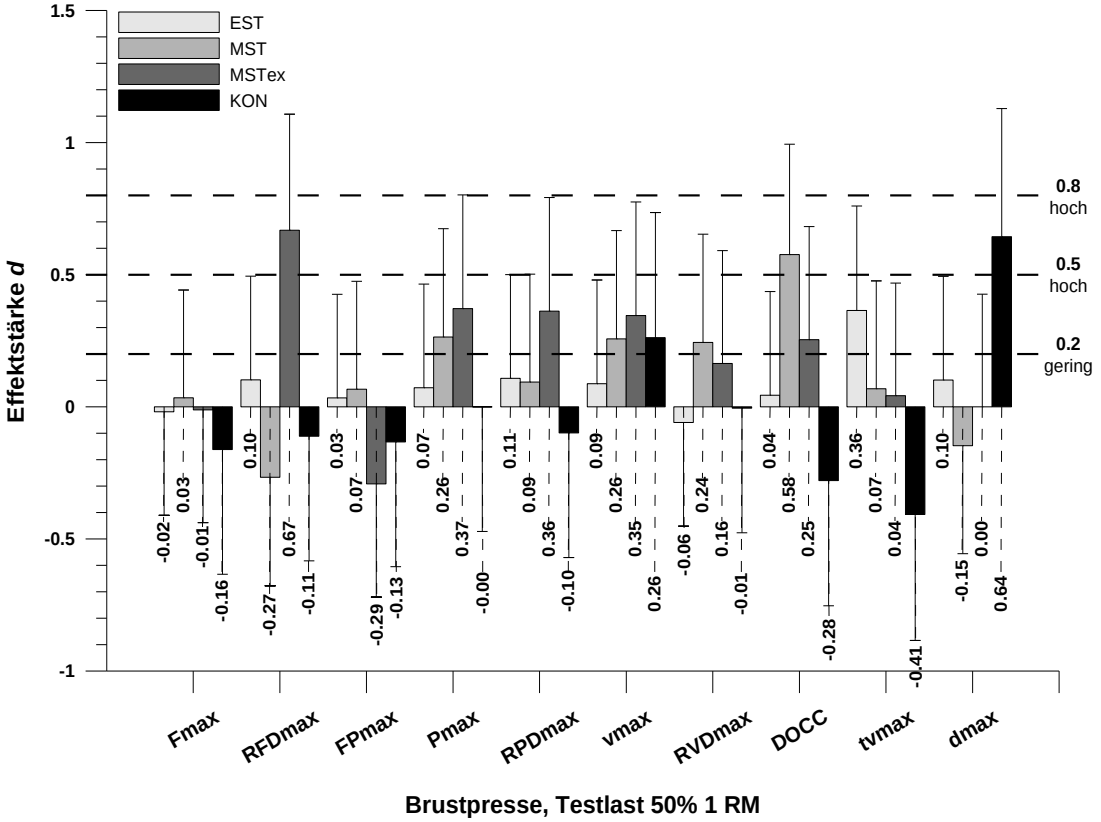

Abbildung 4-65: Klassische Effektstärke *d* der Variablen der muskulären Leistung der Testübung Brustpresse in den Trainingsgruppen und in der Kontrollgruppe bei einer Testlast von 50% 1 RM (vertikale Balken stellen das 95%ige Konfidenzintervall dar, die horizontalen Linien markieren die unterschiedliche Bedeutsamkeit der Effekte).

Die signifikante Verbesserung der RPD_{max} und RVD_{max} in der MSTex und MST bei einer Testlast von 80% 1 RM weist auf testlastspezifische Anpassungen hin. Hierbei scheint es eine klare Reihung der Verbesserungen zu geben: je höher die Bewegungsgeschwindigkeit bzw. die intendierte Bewegungsgeschwindigkeit, desto höher ist die Verbesserung (MSTex > MST > EST, vgl. Abbildung 4-49, Abbildung 4-55). Veränderungen in der F_{Pmax} können auf eine Veränderung der Kraft-Leistungs-Verhältnisse hindeuten (Cormie et al., 2008). Hier zeigt sich lediglich für die MSTex (Abbildung 4-62) ein tendenziell niedrigerer Kraftwert, d.h. die maximale Leistung wird zu einem größeren Anteil über eine höhere v_{max} und somit RVD_{max} erbracht.

Betrachtet man die Veränderungen der RPD_{max}, RVD_{max} und F_{Pmax} zusammen, so scheint die intendiert-explosive Bewegungsausführung zu einer lastspezifischen Verbesserung der

Geschwindigkeitskomponente der muskulären Leistung geführt zu haben. Hierfür sind verschiedene neuronale Adaptationen verantwortlich (Abbildung 2-41; Sale, 2003).

Eine Verkürzung der Dauer der konzentrischen Phase (DOCC) weist, solange sich der zurückgelegte Weg (d_{max}) nicht verkürzt, auf eine Schnellkraftverbesserung hin: die gleiche Strecke wird in kürzerer Zeit zurückgelegt. Die MSTex zeigt bei einer Testlast von 80% 1 RM eine signifikante Verlängerung des d_{max}, die KON bei 50% 1 RM. Beide Wegveränderungen gehen mit unbedeutenden Veränderungen der DOCC einher, d.h. es wurde eine längere Strecke in gleicher Zeit zurückgelegt. Dies stellt eine positive Veränderung der muskulären Leistung dar, die in der MSTex durch neuronale Adaptationen auf Basis der intendiert-explosiven Bewegungsausführung erklärt werden kann, wohingegen die Verbesserung der KON auf die sportliche Aktivität der Probanden im laufenden Semester zurückgeführt wird. Die tendenzielle Verkürzung der DOCC der MST bei 80% und 50% 1 RM ist bei gleichem d_{max} ebenfalls als Verbesserung der muskulären Leistung zu interpretieren. Diese ist zum zweiten Messzeitpunkt gegenüber der EST und KON bei beiden Testlasten signifikant, wobei durch die signifikante Verlängerung des d_{max} der KON bei 50% 1 RM die Interpretation einer verbesserten muskulären Leistung bei diesem Vergleich nicht mehr gegeben ist.

Weiteren Interpretationsspielraum liefert in diesem Zusammenhang die tendenzielle Verringerung der t_{vmax} der MST bei 80% 1 RM über den Untersuchungszeitraum sowie die signifikanten Unterschiede zur KON zum zweiten Messzeitpunkt. Hier kann sich die kontrolliert-zügige Bewegungsausführung der MST als vorteilhaft herausgestellt haben, da im Gegensatz zu der intendiert-explosiven Bewegungsausführung der MSTex andere Aktivierungsmuster von Agonisten und Antagonisten aufgetreten sein können. Die schnellkräftige Bewegung der MSTex könnte aufgrund der Abbremsbewegung zu Bewegungsende ein 3-phasiges Aktivierungsmuster (Agonist-Antagonist-Agonist) mit stärkerer Koaktivierung ausgeprägt haben, wohingegen dieses bei der MST nicht erfolgt, da keine Abbremsbewegung erforderlich war (Sale, 2003, pp. 302–303). Diese unterschiedlichen Bewegungsmuster scheinen ihren Ausdruck in der DOCC und t_{vmax} zu finden.

Insgesamt zeigen sich mit vier Ausnahmen (s. $H_1$7) keine Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe. Dies kann, wie bereits bei der Diskussion der Maximal- und Sprungkraftveränderungen erwähnt, darauf zurückzuführen sein, dass es sich

a) um krafttrainierte Sportstudenten handelte, die angewiesen wurden, ihre übliche Krafttrainingsgewohnheiten beizubehalten und
b) die Untersuchung semesterbegleitend durchgeführt wurde.

Die Betrachtung der muskulären Leistung bei den unterschiedlichen Testlasten zeigt die zu erwartenden Ergebnisse: Variablen, die primär von der externen Last abhängen (F_{max}, F_{Pmax}), weisen höhere Werte bei einer Testlast von 80% 1 RM auf, wohingegen die geschwindigkeitsabhängigen Variablen der muskulären Leistung höhere Werte bei einer Testlast von 50% 1 RM offenbaren. (Zatsiorsky & Kraemer, 2008; Schmidtbleicher, 1994; Fleck & Kraemer, 2004; Baker, Nance, & Moore, 2001; Cormie, McCaulley, Triplett, & McBride, 2007).

Die Einordnung in die Literatur ist aufgrund unterschiedlicher Testübungen und Testlasten sowie Unterschieden in der Definition der Variablen der muskulären Leistung erschwert. Die Studien von Behm und Sale (1993a) sowie Young und Bilby (1993), die den Ausgangspunkt der

vorliegenden Untersuchung bilden, stehen für die Einordnung der Ergebnisse der Testübung Brustpresse nicht zur Verfügung. In den genannten Studien wurden lediglich Testübungen für die Muskulatur des Unterkörpers durchgeführt. Bezüglich detaillierter Studieninformationen und Belastungskonfigurationen der im Folgenden herangezogenen Studien sei auf das Kapitel 2.1 verwiesen.

Almasbakk und Hoff (1996) testeten nach einer 6-wöchigen Trainingsphase die mittlere Geschwindigkeit (v_{mw}) für die Übung Bankdrücken. Die Trainingsgruppe BPH (3 x 7 x 80-85% 1 RM, intendiert-explosiv) ist vergleichbar mit der MSTex dieser Studie, die ALT (3 x 7 x 80-85% 1 RM, kontrolliert-zügig) mit der MST. Die Gruppe BPH zeigt - nach einer inhaltlich zweifelhaften Zusammenfassung mit der BPL (3 x 7 x 0.37 kg) - signifikante Verbesserungen der v_{mw} bei allen Testlasten (0.37, 6.6, 16.6, 20 kg), wohingegen die ALT keine Veränderungen aufweist. Diese geschwindigkeitsspezifischen Anpassungen, die im Gegensatz zu den Ergebnissen von Behm und Sale (1993a) stehen, führen die Autoren auf a) eine unterschiedliche Bedeutung der Bewegungskoordination unter isokinetischen und dynamischen Bedingungen sowie b) einen möglichen kontralateralen Transfer zurück, der bei Behm und Sale aufgrund des within-subject Designs ein Rolle gespielt haben könnte (vgl. Kapitel 2.1.1).

Auch wenn die Testlasten deutlich unter den in dieser Studie verwendeten Gewichten lagen, stehen die vorliegenden Ergebnisse im Widerspruch zu Almasbakk und Hoff (1996). Sowohl in der MST und MSTex kommt es zu bedeutsamen Zunahmen der v_{max} bei 80% 1 RM (die Faktorenanalyse ermöglicht den Vergleich der v_{mw} [Almasbakk und Hoff] und v_{max} [vorliegende Studie], s. Kapitel 4.1.2), die eindeutig lastspezifisch sind. Dass zwischen der MST und MSTex, trotz der intendiert-explosiven Bewegungsausführung in der MSTex, kein Unterschied besteht, unterstreicht hingegen die von Almasbakk und Hoff (1996) angesprochene Bedeutung der Bewegungskoordination - allerdings mit einer testlastspezifischen Abhängigkeit.

Bottaro et al. (2007) verglichen die maximale Leistung (P_{max}) bei einer Testlast von 60% 1 RM in der Brustpresse nach einem 10-wöchigen Krafttraining mit 60% des 1 RM. Sowohl die explosiv trainierende Gruppe (MSTex) als auch die kontrolliert-zügige Gruppe (MST) zeigten signifikante Verbesserungen der P_{max}, wobei die MSTex wiederum signifikant höhere maximale Leistungswerte aufwies als die MST. Die Autoren führen die Verbesserungen auf neuromuskuläre Adaptationen zurück, wie eine erhöhte Hemmung der antagonistischen und bessere Co-Kontraktion der synergistischen Muskulatur, eine erhöhte Aktivierung der Synergisten, die Hemmung von neuralen Schutzmechanismen und/oder eine erhöhte Erregbarkeit der Motoneuronen. Darüber hinaus wird eine erhöhte Feuerungsrate der Motoneuronen in Betracht gezogen (Bottaro et al., 2007, p. 262).

Die vorliegende Studie zeigt sowohl in der MST als auch in der MSTex eine vergleichbare signifikante und lastspezifische Erhöhung der P_{max} bei 80% 1-RM. Ein Transfer auf die geringere Testlast von 50% 1 RM ist nicht festzustellen. Ein statistisch bedeutsamer Unterschied zwischen MST und MSTex kann hier nicht gezeigt werden. Die praktische Bedeutsamkeit des Effektes eines MST und MSTex unterscheidet sich ebenfalls nicht (Abbildung 4-64). Offensichtlich scheinen ein MST und MSTex zu gleichwertigen, lastspezifischen neuromuskulären Anpassungen zu führen.

Cronin et al. (2001a) konnten nach einem 8-wöchigen intendiert-explosiven Mehrsatz-Training mit hohen (80% 1 RM) und moderaten (60% 1 RM) Lasten signifikante Verbesserungen der

F_{max}, P_{max}, v_{max} und t_{vmax} bei einer Testlast von 40% 1 RM im Vergleich zu einer Kontrollgruppe zeigen. Darüber hinaus steigerte sich auch die maximale Abfluggeschwindigkeit im Brustpass. Hieraus ziehen die Autoren den folgenden Schluss:

> it may be that the intention to move the bar as rapidly as possible provides the training stimulus for the improved netball throwing velocity. That is, irrespective of load and limb velocity, the repeated intent to move "explosively" is the principal stimuli for high velocity adaptation. (Cronin et al., 2001a, p. 176)

In der vorliegenden Studie zeigt sich hingegen eine lastspezifische Verbesserung der P_{max} und v_{max} bei 80% 1 RM, die F_{max} und t_{vmax} verändert sich nicht. Bei 50% 1 RM sind keine statistisch bedeutsamen Veränderungen festzustellen. Im Vergleich zur Kontrollgruppe weist lediglich die P_{max} einen tendenziellen Unterschied auf.

Die Ergebnisdiskrepanzen könnten ihren Ursprung im Untersuchungsdesign der Studien haben: die 20 zusätzlichen explosiven Brustpässe direkt nach der Krafttrainingsbelastung scheinen die intra- und intermuskuläre Koordination verbessert zu haben. Diese Verbesserung zeigt sich einerseits in der Steigerung der maximalen Abfluggeschwindigkeit des Brustpasses nieder und hat andererseits einen positiven neuronalen Transfer auf die Bankdrückbewegung mit 40 % 1 RM. Weiteres Erklärungspotenzial liefert die Probandenauswahl. Cronin et al. (2001a) untersuchten untrainierte Korbballspielerinnen, während in der vorliegenden Studie krafttrainingserfahrene Männer betrachtet wurden. Es ist zu erwarten, dass trainierte Probanden mit einer spezifischeren Anpassung reagieren (Enoka, 2002).

Jones et al. (1999) fanden nach einem intendiert-explosiven sowie kontrolliert-zügigen Krafttraining der Oberkörpermuskulatur bedeutsam höhere Werte der F_{max} und P_{mw} (die Faktorenanalyse lässt den Vergleich der P_{mw} und P_{max} zu, s. Kapitel 4.1.2) im Liegestütztest beider Trainingsgruppen. Die durchgeführte Messwiederholung zeigte weder Gruppenunterschiede noch eine Interaktion von Gruppe und Messzeitpunkt. Die Schlussfolgerung der Autoren, dass ein Training mit intendiert-explosiven Kontraktionen das Mittel der Wahl zur Verbesserung der Maximal- und Schnellkraft sei, ist auf Basis der dort präsentierten Ergebnisse nicht haltbar. Das hier erhobene maximale dynamische Kraftmaximum weist in allen vier Gruppen für beide Testlasten keine signifikanten Verbesserungen innerhalb und zwischen den Gruppen auf. Somit scheinen weder das Training an sich noch die unterschiedliche Bewegungsausführung zwischen den Trainingsgruppen einen Einfluss auf die Verbesserung der F_{max} zu haben. Die lastspezifische Erhöhung der P_{max} wurde bereits oben erwähnt und diskutiert.

Ein Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse der F_{max} ist in der Testdurchführung zu sehen: Jones et al. (1999) ließen ihre Probanden einen plyometrischen Liegestütz mit einer Fallhöhe von 27 cm durchführen. Folglich ging der Erfassung der Schnellkraftvariablen in der konzentrischen Phase ein Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus voraus, wohingegen in der vorliegenden Studie die Schnellkraftmessung aus einer ruhenden Position heraus erfolgte. Dieser zusätzliche Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus der Testbedingung könnte die höheren Kraftwerte im Post-Test erklären. Die optimale Voraktivierung und die verbesserte mechanische Effizienz durch die Trainingsbelastungen konnten in die trainingsähnlichen Testbedingung übertragen werden (Gollhofer, Taube, & Gruber, 2009, S. 46–49).

Beim dem Versuch, die Ergebnisse der Studie von Behm und Sale (1993a) zu bestätigen, konnten Schlumberger und Schmidtbleicher (2001) nach einem 6-wöchigen, intendiert-explosiven isometrischen Training im Pre-Post-Vergleich wie auch im Vergleich zu einer Kontrollgruppe keine Verbesserung der isometrischen RFD_{max} feststellen. Sie führten dies auf die fehlende dynamische Bewegung zurück, die für Regelmechanismen, wie z.B. das sensorische Feedback via Muskelspindel zuständig ist (s. hierzu auch Enoka, 2008). Die Bedeutung dieser Regelmechanismen könnte sich in den Ergebnissen der vorliegenden Studie widerspiegeln. Zum einen zeigt sich eine tendenziell (80% 1 RM) sowie signifikant (50% 1 RM) höhere RFD_{max} vom Pre- zum Post-Test innerhalb der MSTex. Zum anderen weist die MSTex gegenüber der EST bei 80% 1 RM bzw. der EST, MST und KON bei 50% 1 RM eine signifikant höhere RFD_{max} auf. Diese Beobachtungen deuten für die Verbesserung der maximalen Kraftentwicklung auf eine wesentliche Bedeutung des maximal-initialen Kontraktionsbefehls hin, der mit einer dynamischen Bewegungsausführung gekoppelt werden muss.

Für die Schnellkraftvariablen RPD_{max}, RVD_{max}, DOCC, d_{max} und F_{Pmax} liegen keine vergleichende Untersuchungen vor.

In Tabelle 4-17 sind die nachträglich berechneten klassischen Effektstärken *d* der Vergleichsstudien dargestellt. Die Effektstärken für die Variable v_{mw} bei Almasbakk und Hoff (1996) entsprechen den hier gefundenen Effekten der vergleichbaren Gruppen MST (ALT) und MSTex (BHP) bei 80% 1 RM, allerdings wurden diese bei einer deutlich geringeren Testlast (20 kg) erhoben. Bottaro et al. (2007) berichten für die P_{max} Effektstärken von 0.51 in der traditionell trainierenden Gruppe (hier MST) und 1.22 in der Power-Gruppe (hier MSTex). Die verwendete Trainings- und Testlast betrug in beiden Gruppen 60% des 1 RM, so dass höhere Effekte der explosiven Bewegungsausführung festzustellen sind. In der vorliegenden Studie weisen beide Mehrsatz-Trainingsgruppen gleich hohe Effekte bei der trainingsspezifischen Testlast von 80% 1 RM auf: die unterschiedliche Bewegungsausführung hat keine praktische Bedeutsamkeit.

Tabelle 4-17: Nachträglich berechnete klassische Effektstärken *d* der Schnellkraftvariablen der Primärstudien, Oberkörper.

Autor	Gruppe	Oberkörper			
		Testübung	Maß	*d*	*KI*
Almasbakk & Hoff, 1996	BPH	Bankdrücken. Last 20kg	v_{mw}	0.78	1.04
	ALT		v_{mw}	0.47	1.17
Bottaro et al., 2007	Traditionell	Brustpresse 60% 1 RM	P_{max}	0.51	1.09
	Power		P_{max}	1.22	1.03
Jones et al., 1999	Explosiv	Liegestütz, plyometrisch	F_{max}	0.26	0.89
			P_{mw}	0.63	0.91
	Normal		F_{max}	0.34	0.90
			P_{mw}	0.17	0.89
Schlumberger & Schmidtbleicher, 2001	explosiv isometrisch	Bankdrücken 80 Grad, isometrisch	EXK	0.00	1.00
		Bankdrücken 120 Grad, isometrisch	EXK	0.35	1.00

ALT, 80-85% RM kontrolliert-zügig; BPH, 80-85% 1 RM intendiert-explosiv; *d*, klassische Effektstärke *d*; EXK, Explosivkraft (entspricht RFD_{max}); F_{max}, maximale Kraft; *KI,* 95% Konfidenzintervall; P_{max}, maximale Leistung; v_{max}, maximale Geschwindigkeit.

Die Ergebnisse von Jones et al. (1999) sind aufgrund der plyometrischen Testdurchführung nur bedingt mit der vorliegenden Untersuchung vergleichbar. Die höheren Effekte der explosiv trainierenden Gruppe (hier MSTex) in der mittleren Leistung (P_{mw}) zeigen sich bei der Testübung Brustpresse nicht, die Effekte der F_{max} sind bei Jones et al. (1999) höher.

Die nicht nachweisbaren Effekte auf die Explosivkraft (Synonym RFD_{max}) bei intendiert-explosiver Bewegungsausführung in der vergleichbaren Ausgangsposition von 80° Ellbogenbeugung (Schlumberger & Schmidtbleicher, 2001) können in dieser Studie nicht bestätigt werden. Es zeigen sich hier geringe bis mittlere Effekte der Gruppe MSTex, welche die Bedeutsamkeit der Kopplung eines intendiert-explosiven Kontraktionsbefehls mit der dynamischen Bewegungsausführung verdeutlichen.

Weiteren qualitativen Aufschluss über Veränderungen durch die unterschiedlichen Trainingsinterventionen geben die normalisierten Kraft-Zeit-, Leistungs-Zeit- und Geschwindigkeits-Zeit-Kurven.
Die Kraft-Zeit-Kurven weisen für beide Testlasten in allen Trainingsgruppen im Pre-Post-Vergleich keine charakteristischen Veränderungen zu Beginn der Kraftentwicklung (Abbildung 4-44, Abbildung 4-46) auf, wie diese bei anderen Autoren gefunden wurde (Aagaard et al., 2002). Zwischen den Gruppen zeigen sich sowohl zum ersten (Abbildung 4-45) als auch zum zweiten Messzeitpunkt (Abbildung 4-47) mit Ausnahme der höheren normalisierten Kraft-Zeit-Werte in der KON im Vergleich zur EST und MST zwischen 62% und 69% keine Unterschiede. Somit hat die Trainingsintervention in allen drei Gruppen zu keinen bedeutsamen Veränderungen der normalisierten Kraft-Zeit-Kurve geführt. Eine Verschiebung der Kraft-Zeit-Kurve bei einer langsamen Bewegungsausführung mit höheren Werten zu Bewegungsbeginn und mit höheren Kraftwerten im späteren Verlauf der Bewegung bei kontrolliert-zügiger bzw. intendiert-explosiver Bewegungsausführung, die von Mester et al. (2010) gezeigt werden konnte, ist hier nicht zu finden. Gründe hierfür können in der unterschiedlichen Testmodalität (isometrisch versus dynamisch) sowie der Reliabilitätsproblematik der frühen Kraftwerte unter dynamischen Testbedingungen zu finden sein (vgl. Kapitel 4.1.1).

Die Betrachtung der normalisierten Leistungs-Zeit-Kurven untermauert die bereits oben angesprochenen lastspezifischen Verbesserungen (Abbildung 4-50, Abbildung 4-52). Es zeigen sich, unabhängig von einer intendiert-explosiven oder kontrolliert-zügigen Bewegungsausführung, lastspezifische Trainingseffekte, die in der MST bei einer Testlast von 80% 1 RM einen größeren Zeitraum der normalisierten Leistungs-Zeit-Kurve abdecken. Zwischen den Gruppen offenbart einzig die MST im Post-Test bei 80% 1 RM nennenswerte höhere normalisierte Leistungs-Zeit-Werte im Vergleich zur EST und KON. Es besteht die Möglichkeit, dass zur qualitativen Verbesserung der Leistungs-Zeit-Kurve nicht ein maximal-explosiver Krafteinsatz notwendig ist, sondern ein optimaler Krafteinsatz, der auf die sportliche Bewegung abgestimmt ist (Prinzip der zeitlichen Koordination von Teilimpulsen; Hochmuth, 1982; Olivier & Rockmann, 2003; Zatsiorsky & Kraemer, 2006). Unterstützt werden die Aussagen zur normalisierten Leistungs-Zeit-Kurve durch die normalisierten Geschwindigkeits-Zeit-Kurven. Diese zeigen identische lastspezifische Anpassungen mit größeren Verbesserungen in der MST.

4.7 Hormonelle Reaktionen

EST, MST und MSTex können zu unterschiedlichen hormonellen Reaktionen führen. Im Folgenden werden die hormonellen Auslenkungen der drei Trainingsgruppen für Testosteron, Cortisol, human growth hormone (hGH) und insulin-like growth factor (IGF-1) dargestellt. Neben der separaten Betrachtung der 4 Abnahmezeitpunkt (Pre, Post0, Post15, Post30) zu den zwei Messzeitpunkten (Woche 1 und 6) der einzelnen hormonellen Variablen im Gruppenvergleich erfolgt eine vergleichende Übersicht der "area under curve with respect to increase" (AUC_i) aller Gruppen in den Wochen 1 und 6. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde in den Abbildungen auf die Darstellung der Zahlenwerte verzichtet. Die deskriptive Statistik sowie weitere statistische Kennzahlen finden sich im Anhang IX.

4.7.1 Testosteron

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt für alle Zwischen- und Innersubjektfaktoren mit Ausnahme des Abnahmezeitpunktes (F(1.690, 28.734) = 12.688, p = .000, η^2_p = .427) unbedeutende Effekte. Interaktionen von Messzeitpunkt*Gruppe. Abnahmezeitpunkt*Gruppe und Messzeitpunkt*Abnahmezeitpunk*Gruppe liegen nicht vor.

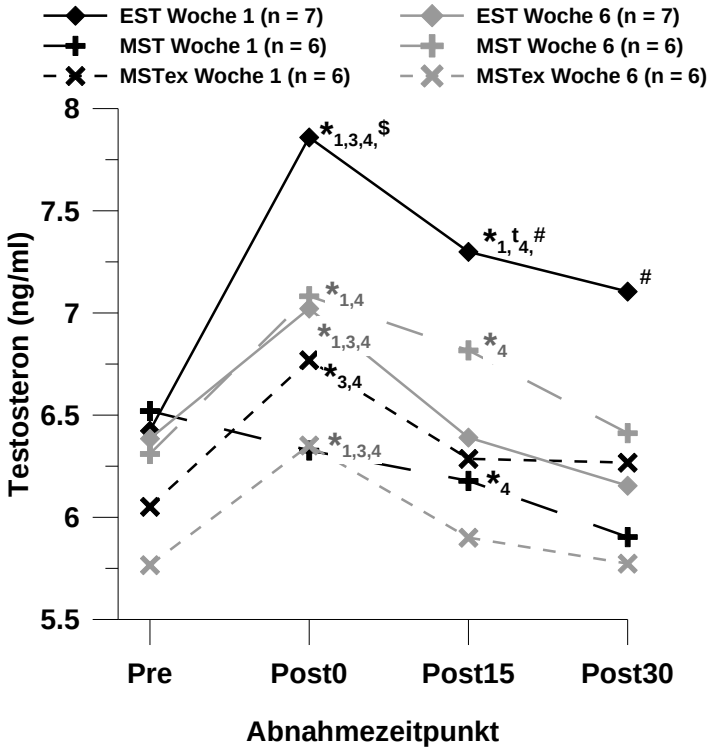

Abbildung 4-66: Testosteronausschüttung der Trainingsgruppen zu den 4 Abnahmezeitpunkten an den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$; #, sig. Unterschied zwischen den Messzeitpunkten $p \leq .05$; $, tendenzieller Unterschied zwischen den Messzeitpunkten $p \leq .10$).

Abbildung 4-66 zeigt den Verlauf der Testosteronausschüttungen zu den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 für die vier Abnahmezeitpunkte (Pre, Post0, Post15, Post30) im Trainingsgruppenvergleich. Auffällig ist die im Vergleich zu allen anderen Kurven stetig abfallende Testosteronkonzentration der MST in Woche 1.

Die Betrachtung der paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel zeigt für Post0 in der EST in Woche 1 und 6 signifikant höhere Testosteronwerte (0.560 ng/ml - 1.436 ng/ml, *KI*: 0.171 ng/ml - 2.350 ng/ml, $p \leq .01$) im Vergleich zu den anderen Abnahmezeitpunkten. Einen ähnlichen Verlauf weist die Testosteronausschüttung in der MSTex mit bedeutenden Unterschieden zum 3. und 4. Abnahmezeitpunkt (Woche 1, 0.483 ng/ml - 0.501 ng/ml, *KI*: 0.019 ng/ml - 0.984 ng/ml, $p \leq .05$) bzw. zum 1., 3. und 4. Abnahmezeitpunkt (Woche 6, 0.451 ng/ml - 0.586 ng/ml, *KI*: 0.010 ng/ml - 1.161 ng/ml, $p \leq .05$) auf. In der EST sind in Woche 1 tendenziell höhere Testosteronwerte im Vergleich zur Woche 6 für Post0 (0.837 ng/ml, *KI*: -0.140 ng/ml - 1.814 ng/ml, p = .088) und signifikant höhere Werte

für Post15 (0.909 ng/ml, *KI*: 0.015 ng/ml - 1.802 ng/ml, p = .047) und Post30 (0.950 ng/ml, *KI*: 0.029 ng/ml - 1.871 ng/ml, p = .044) zu verzeichnen.

4.7.2 Cortisol

Für das Cortisol zeigt die Varianzanalyse mit Messwiederholung einen bedeutsamen Effekt für den Zwischensubjektfaktor Gruppe (F(2, 17) = 5.220, p = .017, η^2_p = .380). Die Innersubjekteffekte und ihre Interaktionen sind unbedeutsam.

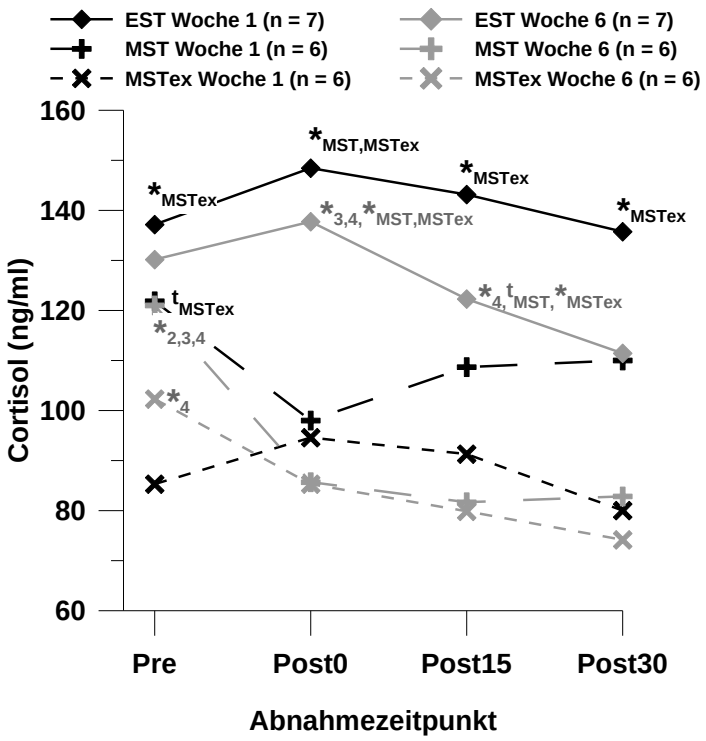

Abbildung 4-67: Cortisolausschüttung der Trainingsgruppen zu den 4 Abnahmezeitpunkte an den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$).

Die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel für den Gruppenvergleich beider Messzeitpunkte zeigen, dass die EST in Woche 1 tendenziell höhere Cortisolwerte im Vergleich zur MST (50.429 ng/ml, *KI*: 5.328 ng/ml - 95.529 ng/ml, p = .031) zu Post0 bzw. signifikant höhere Werte im Vergleich zur MSTex (51.857 ng/ml - 55.714 ng/ml, *KI*: 2.541 ng/ml - 104.742 ng/ml, $p \leq .05$) von Pre bis Post30 aufweist. In Woche 6 sind zu Post0 und Post15 signifikant bzw. tendenziell höhere Cortisolwerte der EST im Vergleich zur MST und MSTex zu erkennen.

Bedeutsame Unterschiede zwischen den Abnahmezeitpunkten sind für die EST in Woche 6 von Post0 zu Post15 (15.429 ng/ml, *KI*: 6.660 ng/ml - 24.197 ng/ml, p = .002) und Post30 (26.286 ng/ml, *KI*: 9.924 ng/ml - 42.648 ng/ml, p = .003) sowie von Post15 zu Post30 (10.857 ng/ml, *KI*: 0.094 ng/ml - 21.621 ng/ml, p = .048) festzustellen. Die MST offenbart in Woche 6 ebenfalls signifikant höhere Pre-Werte im Vergleich zu allen anderen Abnahmezeitpunkten (35.333 ng/ml - 39.333 ng/ml, *KI*: 5.660 ng/ml - 68.953 ng/ml, $p \leq .05$) und die MSTex zeigt höhere Pre-Werte im Vergleich zu Post30 (28.143 ng/ml, *KI*: 2.324 ng/ml - 53.962 ng/ml, p = .034).

4.7.3 Human growth hormone

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt für das Wachstumshormon einen tendenziellen Effekt des Zwischensubjektfaktors Gruppe (F(2, 16) = 2.783, p = .092, η^2_p = .258). Für die Innersubjekteffekte ist ein bedeutsamer Effekt des Abnahmezeitpunkts festzustellen (F(1.144, 18.297) = 7.256, p = .012, η^2_p = .312). d.h. der Abnahmezeitpunkt hat eine Auswirkung auf den gemessenen hGH-Wert. Die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel zeigen zwischen den vier Abnahmezeitpunkten lediglich in der EST signifikante Unterschiede (vgl. Abbildung 4-68: Post 0 zu Pre, Post15 und 30 (8.614 µU/ml - 16.871 µU/ml, *KI*: 0.737 µU/ml - 29.233 µU/ml, $p \leq .05$), Post15 zu Pre und Post30 (3.743 µU/ml - 8.257 µU/ml, *KI*: 0.876 µU/ml- 13.122 µU/ml, $p \leq .05$) sowie Post30 zu Pre (4.514 µU/ml, *KI*: 1.844 µU/ml - 7.185 µU/ml,

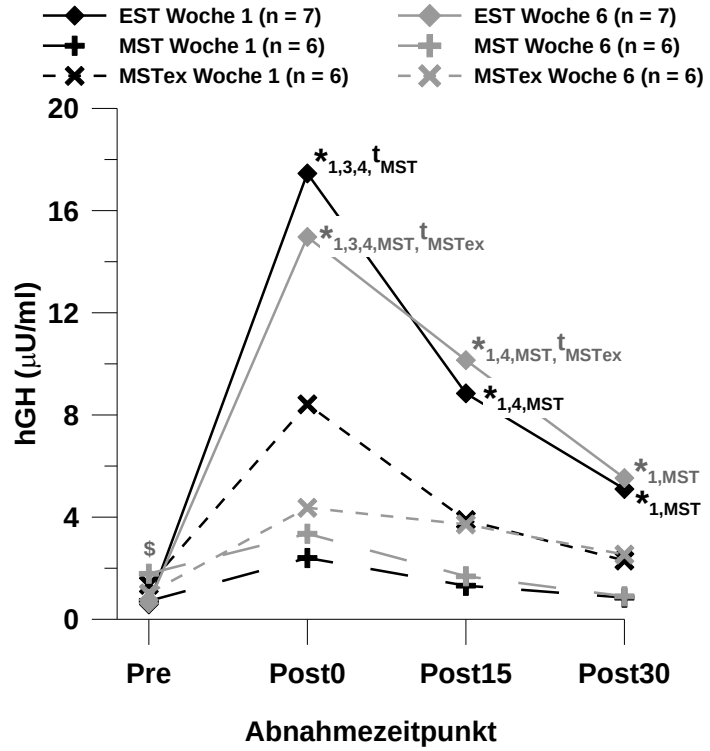

Abbildung 4-68: hGH-Ausschüttung der Trainingsgruppen zu den 4 Abnahmezeitpunkte an den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$; $, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) Woche 1 und 6 MST).

$p \leq .01$). Zwischen den Gruppen offenbart die EST tendenziell bzw. signifikant höhere Werte im Vergleich zur MST zum ersten Messzeitpunkt im 2. bis 4. Abnahmezeitpunkt (4.250 µU/ml - 15.057 µU/ml, *KI*: -2.982 µU/ml - 33.043 µU/ml, $p \leq .10$ - .05). Zum zweiten Messzeitpunkt sind durchgehend signifikant höhere hGH-Werte (4.629 µU/ml - 11.621 µU/ml, *KI*: .003 µU/ml - 22.584 µU/ml, $p \leq .05$) festzustellen. Gegenüber der MSTex offenbart die EST tendenzielle Unterschiede zum 2. und 3. Abnahmezeitpunkt (6.426 µU/ml - 10.605 µU/ml, *KI*: -1.289 µU/ml - 21.567 µU/ml, $p \leq .10$ -.05).

4.7.4 Insulin-like growth factor 1

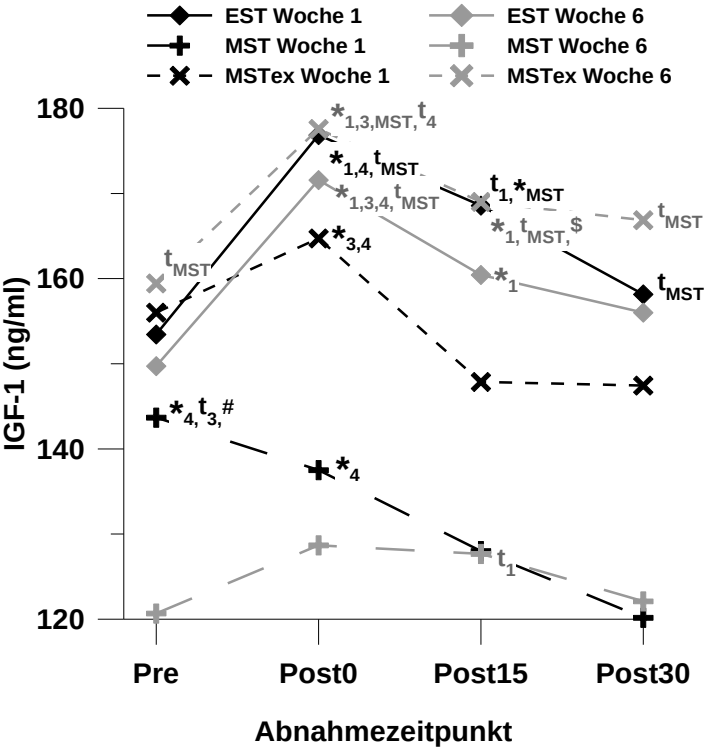

Abbildung 4-69: IGF-1 Ausschüttung der Trainingsgruppen zu den 4 Abnahmezeitpunkte an den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$; #, sig. Unterschied zwischen den Messzeitpunkten $p \leq .05$; $, tendenzieller Unterschied zwischen den Messzeitpunkten $p \leq .10$).

Für den insulinähnlichen Wachstumsfaktor (IGF-1) zeigt die Varianzanalyse mit Messwiederholung unbedeutende Effekte für den Zwischensubjektfaktor Gruppe. Innerhalb der Subjekte hat der Abnahmezeitpunkt einen statistisch bedeutsamen Effekt ($F(2, 51) = 10.958$, $p = .000$, $\eta^2_p = .392$). Weiterhin ist eine tendenzieller Interaktionseffekt von Abnahmezeitpunkt*Gruppe ($F(6, 51) = 2.216$, $p = .056$, $\eta^2_p = .207$) sowie eine signifikante Interaktion Messzeitpunkt*Abnahmezeitpunkt ($F(3, 51) = 3.604$, $p = .019$, $\eta^2_p = .175$) festzustellen. Die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel zeigen zwischen den vier Abnahmezeitpunkten zum ersten und zweiten Messzeitpunkt innerhalb der EST und MSTex signifikant und tendenziell erhöhte IGF-1 Werte nach dem Training. Die MST weist

im ersten Messzeitpunkt die höchsten Werte zum Ausgangszeitpunkt auf. Diese fallen von Post0 zu Post30 kontinuierlich ab. (Abbildung 4-69). Die EST offenbart zum ersten Messzeitpunkt signifikant höhere IGF-1 Werte zu Post15 im Vergleich zur MST (40.571 ng/ml, *KI*: 5.272 ng/ml - 75.871 ng/ml, $p = .027$), zum zweiten Messzeitpunkt ist ein tendenziell erhöhter Post0 Wert zu erkennen. Die MSTex weist in Woche 6 zu Post0 signifikant höhere IGF-1 Werte als die MST auf (48.905 ng/ml, *KI*: 1.935 ng/ml - 95.874 ng/ml, $p = .042$). Zwischen den Abnahmezeitpunkten der beiden Messzeitpunkte zeigt sich innerhalb der Gruppen ein bedeutsamer Unterschied in der MST mit höheren IGF-1 Werten vor dem Training (23.000 ng/ml, *KI*: 2.655 ng/ml - 43.345 ng/ml, $p = .029$) zum ersten Messzeitpunkt sowie in der MSTex mit tendenziell höheren Post15 Werten (21.143 ng/ml, *KI*: -.561 ng/ml - 42.847 ng/ml, $p = .059$) zum zweiten Messzeitpunkt.

4.7.5 Testosteron/Cortisol-Quotient

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt für den Testosteron/Cortisol-Quotienten (T/C-Quotient) mit Ausnahme des Abnahmezeitpunkts ($F(1.753, 29.807) = 3.705$, $p = .042$, $\eta^2_p = .179$) keine bedeutsamen Zwischen- bzw. Innersubjekteffekte.

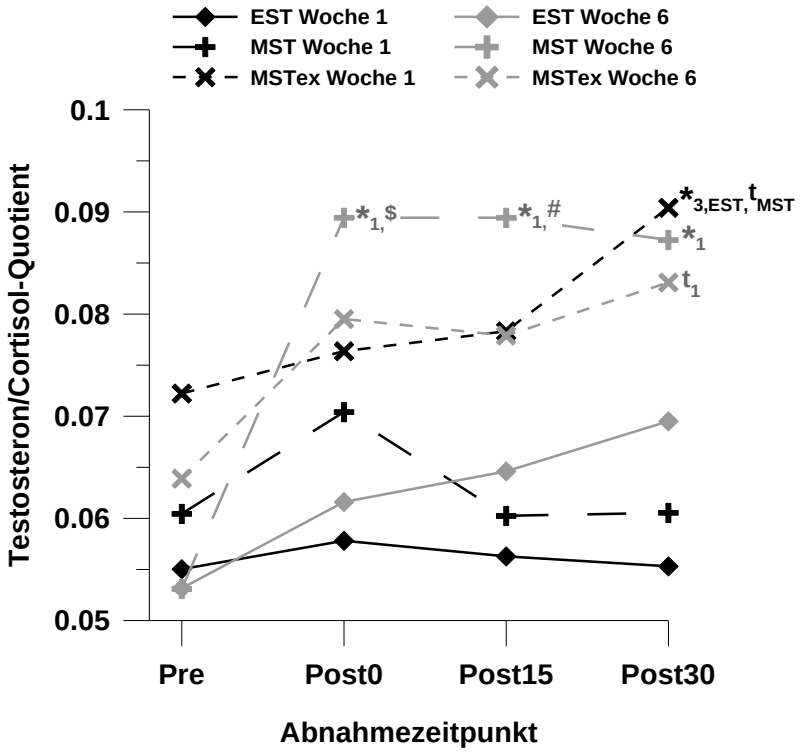

Abbildung 4-70: : Testosteron/Cortisol-Quotient der Trainingsgruppen zu den 4 Abnahmezeitpunkte an den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$; #, sig. Unterschied zwischen den Messzeitpunkten $p \leq .05$; $, tendenzieller Unterschied zwischen den Messzeitpunkten $p \leq .10$).

Die Betrachtung der paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel offenbart in der MST zum zweiten Messzeitpunkt signifikant höhere Quotienten nach der Trainingsbelastung (0.034 - 0.036, *KI*: 0.010 - 0.063, $p \leq .01$). Zwischen den Gruppen zeigen sich lediglich für die MSTex zum ersten Messzeitpunkt signifikant bzw. tendenziell höhere Quotienten im vierten Abnahmezeitpunkt im Vergleich zur EST und MST (0.030 - 0.035, *KI*: -0.003 - 0.067, $p \leq .10$). Die MST weist zum zweiten Messzeitpunkt tendenziell höhere Quotienten gegenüber dem ersten Messzeitpunkt zu Post0 (0.019, *KI*: -0.004 - 0.042, $p = .095$) und bedeutsame Unterschiede zu Post15 auf (0.029, *KI*: 0.000 - 0.058, $p = .048$).

4.7.6 „Area under curve with respect to increase" (AUC_i)

Abbildung 4-71 stellt die Ergebnisse der Varianzanalyse für die „Area under curve with respect to increase" (AUC_i) aller erhobenen hormonellen Variablen dar. Der Faktor Gruppe zeigt für das hGH ($F(2, 16) = 3.480$, $p = .056$, $\eta^2_p = .303$) und den IGF-1 ($F(2, 17) = 4.816$, $p = .022$, $\eta^2_p = .362$) tendenzielle bzw. statistisch bedeutsame Effekte. Für den Innersubjektfaktor Messzeitpunkt offenbaren sich bedeutsame Unterschiede für den IGF-1 ($F(1, 17) = 7.795$, $p = .013$, $\eta^2_p = .314$), d.h. die Werte des IGF-1 unterscheiden sich zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt. Eine tendenzielle Interaktion von Messzeitpunkt*Gruppe für Testosteron ($F(2, 17) = 2.936$, $p = .080$, $\eta^2_p = .257$) und IGF-1 ($F(2, 17) = 2.970$, $p = .078$, $\eta^2_p = .259$) weist darüber hinaus auf Gruppenunterschiede zu den Messzeitpunkten hin.

Die paarweisen Vergleiche der geschätzten Randmittel (vgl. Abbildung 4-71) zeigen für das Testosteron innerhalb der Gruppen für die EST tendenziell höhere Werte zum ersten Messzeitpunkt (1.725 ng/ml, *KI*: -0.293 ng/ml - 3.743 ng/ml, $p = .089$). Zwischen den Gruppen offenbart die EST signifikant höhere Testosteronwerte als die MST zum ersten Messzeitpunkt (2.681 ng/ml, *KI*: 0.212 ng/ml - 5.149 ng/ml, $p = .035$).

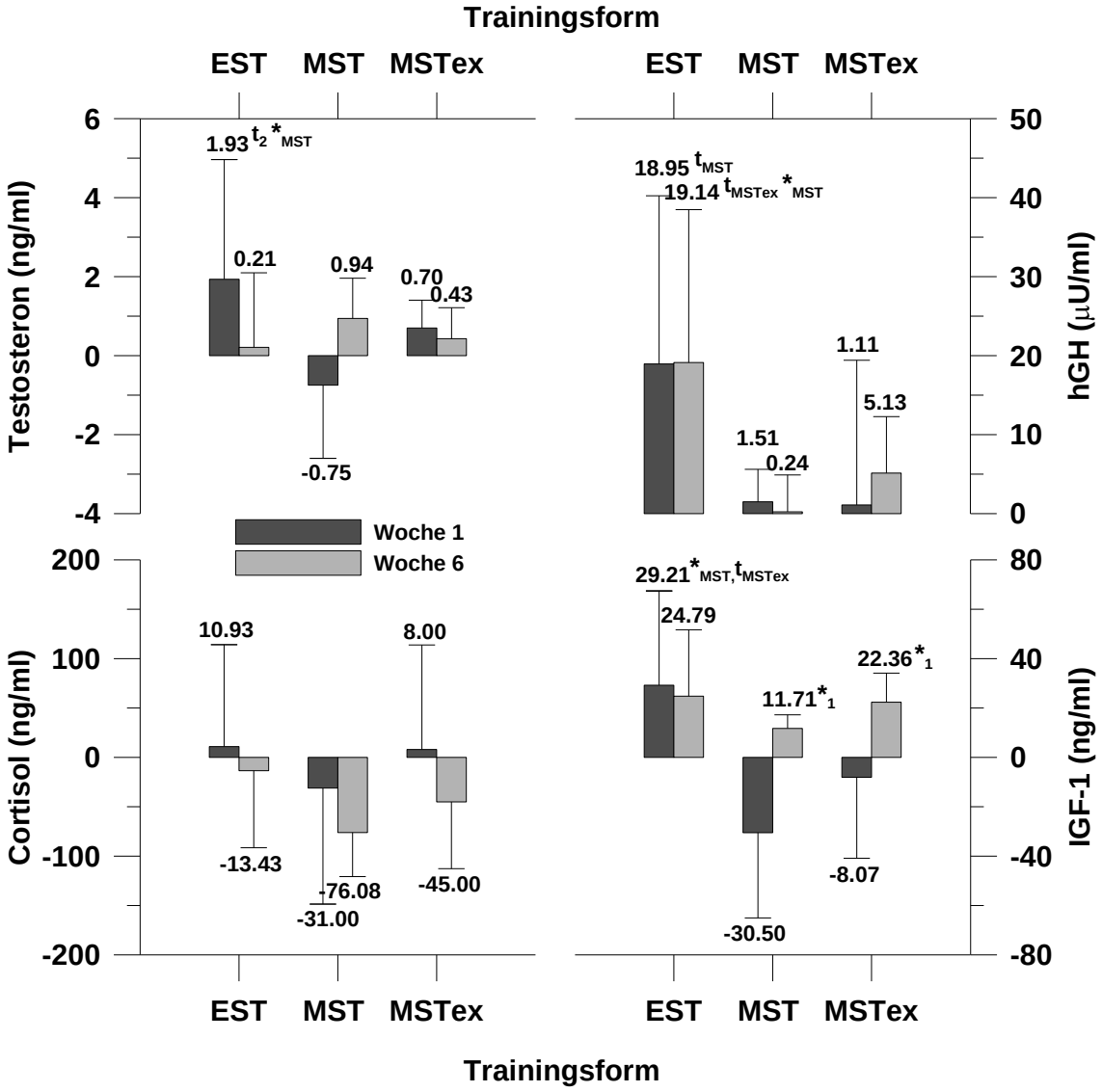

Abbildung 4-71: Area under curve with respect to increase (AUC_i) der Trainingsgruppen zu den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 (hGH, human growth hormone; IGF-1, insulin-like growth factor 1; *, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$).

Das hGH zeigt tendenziell höhere Werte der EST gegenüber der MST (17.442 µU/ml, *KI*: -0.190 µU/ml - 35.074 µU /ml, p = .052) zum ersten Messzeitpunkt sowie tendenziell höhere hGH-Werte im Vergleich zur der MSTex (14.002 µU/ml, *KI*: -1.062 µU/ml - 29.067 µU/ml, p = 0.66) und bedeutsam höhere Werte gegenüber der MST (18.894 µU/ml, *KI*: 3.829 µU/ml - 33.959 µU/ml, p = .017) zum zweiten Messzeitpunkt.

Die EST offenbart zum ersten Messzeitpunkt signifikant höhere IGF-1 Werte als MST (59.714 ng/ml, *KI*: 18.308 ng/ml - 101.121 ng/ml, p = .007) und tendenzielle höhere Werte als die MSTex (37.286 ng/ml, *KI*: -2.496 ng/ml - 77.068 ng/ml, p = .064). Innerhalb der Gruppen sind höhere Werte der MST (42.213 ng/ml, *KI*: 10.926 ng/ml - 3.499 ng/ml, p = .011) und MSTex (30.429 ng/ml, *KI*: 1.462 ng/ml - 59.395 ng/ml, $p \leq .041$) zum zweiten Messzeitpunkt festzustellen.

Die Cortisolwerte zeigen weder innerhalb noch zwischen den Gruppen bedeutsame oder tendenzielle Unterschiede.

4.7.7 Hypothesenbesprechung und Diskussion

Die Tabelle 4-18 und Tabelle 4-19 zeigen die Zusammenfassung der Varianzanalysen mit Messwiederholung der akuten hormonellen Reaktionen sowie der gesamt post-hormonellen Auslenkungen mittels der "area under curve with respect to increase" (AUC_i). Wie in Tabelle 4-18 ersichtlich wird, weisen die hormonelle Auslenkungen des Cortisols und des hGH signifikante bzw. tendenzielle Effekte des Faktors Gruppe auf. Für beide Parameter sind die hormonellen Auslenkungen der EST im Anschluss an das Training gegenüber der MST bzw. MSTex statistisch bedeutsam erhöht.

Tabelle 4-18: Ergebniszusammenfassung der Varianzanalyse mit Messwiederholung der akuten hormonellen Reaktionen nach den unterschiedlichen Belastungsprotokollen zu den Messzeitpunkten Woche 1 und 6.

Maß	Zwischensubjekteffekte	Innersubjekteffekte					
	Gruppe	Mess	Mess*Gruppe	AbZeit	AbZeit*Gruppe	Mess*AbZeit	Mess*AbZeit*Gruppe
T	ns	ns	ns	≤ .001	ns	ns	ns
C	≤ .05	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IGF-1	ns	ns	ns	≤ .001	≤ .10	≤ .05	ns
hGH	≤ .10	ns	ns	≤ .05	ns	ns	ns
T/C	ns	ns	ns	≤ .05	ns	ns	ns

T, Testosteron; C, Cortisol; IGF-1; insulin-like growth factor; hGH, human growth hormone; T/C, Testosteron/Cortisol-Quotient; ns, nicht signifikant; ≤ …, p-Wert; Mess, Messzeitpunkt; AbZeit, Abnahmezeitpunkt.

Der Innersubjektfaktor Abnahmezeit zeigt mit Ausnahme des Cortisols signifikante Effekte, d.h. das Testosteron, IGF-1, hGH und der T/C-Quotient sind im Anschluss an die Belastungsprotokolle erhöht. Interaktionseffekte offenbart der IGF-1 für Abnahmezeitpunkt und Gruppe sowie Messzeitpunkt und Abnahmezeit. Wie Tabelle 4-20 zeigt, beruhen diese Interaktionseffekte auf den geringen Auslenkungen der MST im Vergleich zur EST und MSTex zu beiden Messzeitpunkten und den Abnahmezeitpunkten Post0, 15 und 30.

Für die AUC_i sind signifikante Effekte des Faktors Gruppe für das IGF-1 und tendenzielle Effekte für das hGH zu erkennen. Beide beruhen darauf, dass die EST für beide Parameter zu beiden Messzeitpunkten höhere Werte aufweist (Abbildung 4-71). Darüber hinaus offenbart der statistisch bedeutsame Innersubjekteffekt Messzeitpunkt für den IGF-1 höhere Werte aller

Gruppen in der Woche 6 gegenüber Woche 1, wobei dieser im Vergleich zur Woche 1 in den Gruppen MST und MSTex deutlich stärker ausgeprägt ist.

Tabelle 4-19: Ergebniszusammenfassung der Varianzanalyse mit Messwiederholung der AUC_i nach den unterschiedlichen Belastungsprotokollen zu den Messzeitpunkten Woche 1 und 6.

Maß	Zwischensubjekteffekte	Innersubjekteffekte	
	Gruppe	Messzeitpunkt	Messzeitpunkt*Gruppe
T	ns	ns	≤ .10
C	ns	ns	ns
IGF-1	≤ .05	≤ .05	≤ .10
hGH	≤ .10	ns	ns

T, Testosteron; C, Cortisol; IGF-1; insulin-like growth factor; hGH, human growth hormone; ns, nicht signifikant; ≤ …, *p*-Wert.

Die Überprüfung der hormonellen Auslenkungen erfolgt auf Basis von zwei Hypothesen:

$H_1$8: Ein Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt zu einer Erhöhung der akuten hormonellen Auslenkungen der Hormone i) Testosteron, ii) Cortisol, iii) IGF-1 und iv) hGH.

$H_1$9: Ein Krafttraining mit a) intendiert-explosiver (MSTex), b) kontrolliert-zügiger (MST) und c) langsamer (EST) Bewegungsausführung führt im Trainingsverlauf zu Veränderungen der akuten hormonellen Auslenkungen der Hormone i) Testosteron, ii) Cortisol, iii) IGF-1 und iv) hGH.

zu $H_1$8:

Für das Testosteron ist die $H_1$8 für alle drei Belastungsprotokolle anzunehmen. Die Cortisolauslenkungen zeigen in der Woche 1 in allen drei Gruppen keine signifikanten Auslenkungen, somit wird die $H_0$8 beibehalten. Zum zweiten Messzeitpunkt weist nur die EST statistisch bedeutsame Auslenkungen auf, d.h. die $H_1$8 wird angenommen. Für die MST und MSTex wird die $H_0$8 beibehalten. Das hGH offenbart sowohl in Woche 1 als auch 6 signifikante Auslenkungen in der EST, die $H_1$8 wird angenommen. In den Gruppen MST und MSTex sind keine bedeutsamen Veränderungen zu erkennen, die $H_0$8 wird beibehalten. Im Hinblick auf den IGF-1 wird für alle drei Gruppen in Woche 1 die $H_1$8 angenommen. Zum zweiten Messzeitpunkt zeigen nur die EST und MSTex signifikante Auslenkungen, die $H_1$8 wird angenommen. Für die MST wird die $H_0$8 für den zweiten Messzeitpunkt beibehalten.

zu $H_1$9:

Die Beurteilung der Veränderung vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt erfolgt auf Basis der AUC_i. Für die hormonellen Parameter Testosteron, Cortisol und hGH ist die $H_0$9 beizubehalten: In allen drei Trainingsgruppen zeigen sich keine bedeutsamen Veränderungen. Im Hinblick auf das IGF-1 ist für die Gruppen MST und MSTex die $H_1$9 anzunehmen, es zeigen sich zum zweiten Messzeitpunkt signifikant höhere Auslenkungen. Die EST offenbart keine Veränderungen, die $H_0$9 ist beizubehalten.

Tabelle 4-20: Zusammenfassender Überblick der Veränderungen der akuten hormonellen Reaktionen nach den unterschiedlichen Belastungsprotokollen.

Maß	AbZeit	Woche 1 innerhalb der Gruppen			Woche 6 innerhalb der Gruppen			Woche 1 und 6 innerhalb der Gruppen			Woche 1 zwischen den Gruppen			Woche 6 zwischen den Gruppen		
		EST	MST	MSTex	EST	MST	MSTex	EST	MST	MSTex	EST	MST	MSTex	EST	MST	MSTex
T	Pre	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Post0	↑1,3,4	ns	↑3,4	↑1,3,4	↑1,4	↑1,3,4	↑Wo1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Post15	↑1,^4	↑4	ns	ns	↑4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Post30	ns	ns	ns	ns	ns	ns	↑Wo1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C	Pre	ns	ns	ns	ns	↑2,3,4	↑4	ns	ns	ns	↑MSTex	^MSTex	ns	ns	ns	ns
	Post0	ns	ns	ns	↑3,4	ns	ns	ns	ns	ns	↑MST, MSTex	ns	ns	↑MST, MSTex	ns	ns
	Post15	ns	ns	ns	↑4	ns	ns	ns	ns	ns	↑MSTex	ns	ns	^MST, ↑MSTex	ns	ns
	Post30	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	↑MSTex	ns	ns	ns	ns	ns
hGH	Pre	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	↑Wo6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Post0	↑1,3,4	ns	ns	↑1,3,4	ns	ns	ns	ns	ns	^MST	ns	ns	↑MST, ^MSTex	ns	ns
	Post15	↑1,4	ns	ns	↑1,4	ns	ns	ns	ns	ns	↑MST	ns	ns	↑MST, ^MSTex	ns	ns
	Post30	↑1	ns	ns	↑1	ns	ns	ns	ns	ns	↑MST	ns	ns	↑MST	ns	ns
IGF-1	Pre	ns	↑4,^3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	^MST
	Post0	↑1,4	↑4	↑3,4	↑1,3,4	ns	↑1,3,^4	ns	↑Wo1	ns	↑MST	ns	ns	^MST	ns	↑MST
	Post15	^1	ns	ns	↑1	^1	↑1	ns	ns	^Wo1	↑MST	ns	ns	ns	ns	^MST
	Post30	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	^MST	ns	ns	ns	ns	^MST
T/C	Pre	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Post0	ns	ns	ns	ns	↑1	ns	ns	^Wo6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Post15	ns	ns	ns	ns	↑1	ns	ns	↑Wo6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Post30	ns	ns	↑3	ns	↑1	^1	ns	ns	ns	ns	ns	↑EST,^MST	ns	ns	ns
T	AUCi	-	-	-	-	-	-	^Wo1	ns	ns	↑MST	ns	ns	ns	ns	ns
C		-	-	-	-	-	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
hGH		-	-	-	-	-	-	ns	ns	ns	^MST	ns	ns	↑MST,^MSTex	ns	ns
IGF-1		-	-	-	-	-	-	ns	↑Wo6	↑Wo6	↑MSTex,^MST	ns	ns	ns	ns	ns

↑, signifikant höhere Werte ($p \leq .05$); ^, tendenziell höhere Werte ($p \leq .10$); 1, Pre; 2, Post0; 3, Post15; 4, Post30; AbZeit, Abnahmezeitpunkt; ns, nicht signifikant; Wo1, Woche 1; Wo6, Woche 6; T, Testosteron; C, Cortisol; IGF-1; insulin-like growth factor; hGH, human growth hormone.

Tabelle 4-21 fasst die zu erwartenden akuten Hormonauslenkungen nach verschiedenen Krafttrainingsmethoden zusammen. Die untersuchten drei unterschiedlichen Hypertrophie-orientierten Belastungsprotokolle zeigen die erwarteten Testosteron- und IGF-1-Anstiege. Für das hGH und das Cortisol hingegen ergeben sich nicht erwartungskonforme Ergebnisse.

Tabelle 4-21: Zusammenfassung von Untersuchungen der akuten Hormonauslenkungen nach einem Hypertrophie-, Maximalkraft- und Schnellkrafttraining (Crewther et al., 2006).

	Hypertrophie	Maximalkraft	Leistung
Testosteron	↑↑↑↑	↑↑	↑↑↑↑
GH	↑↑↑↑↑↑↑↑	↑	↔
IGF-I	↑↑↑	↑↑↑↑	↔
Cortisol	↑↑↑↑↑	↔	↑↑

GH= Wachstumshormon; IGF-1=insulin-like growth factor 1; ↑=Anstieg; ↔=keine Veränderung bzw. gleiche Ergebnisse.

Als konträres Hauptergebnis sind die signifikant höheren hGH-Werte nach Trainingsende in der EST zu Woche 1 und 6 sowie das Ausbleiben von statistisch bedeutsamen hormonellen Auslenkungen an die beiden Mehrsatz-Trainingsprotokolle zu nennen. Folglich zeigt die EST signifikante Unterschiede zur MST (Woche 1 und 6) bzw. tendenzielle Unterschiede zur MSTex (Woche 6). Die Betrachtung der AUC_i offenbart ebenfalls signifikant (Woche 6, MST) und tendenziell (Woche 1, MST; Woche 6, MSTex) höhere Werte der EST.

Berücksichtigt man die Belastungskonfiguration anhand der aufgezeichneten Trainingsdaten, so weisen Tabelle 4-5 und Tabelle 4-4 eine signifikant höhere Gesamtspannungsdauer der EST gegenüber der MST und MSTex; das Volumen und die Arbeit sind in der MST und MSTex im Vergleich zur EST signifikant höher. Die aus diesen Belastungsparametern zusammengesetzte $Arbeit_{Spannungsdauer}$ offenbart ebenfalls statistisch bedeutsam höhere Werte der MST und MSTex.

Auf Basis dieser Ergebnisse kann die höhere hGH-Ausschüttung eindeutig auf eine höhere Gesamtspannungsdauer in der EST zurückgeführt werden. Die Bedeutung der Spannungsdauer wurde von Goto et al. (2009) und Goto et al. (2008) betrachtet. Eine langsame Bewegungsausführung (3 sec. konz., 3 sec. exz.) mit geringen Lasten (40% 1 RM) führt zu höheren Testosteron- und hGH-Auslenkungen als eine normale Bewegungsausführung (1 sec. konz., 1 sec. exz.) gegen hohe Lasten (Goto et al., 2008). Die höhere Testosteronausschüttung der EST ist bei Betrachtung der AUC_i lediglich in Woche 1 gegenüber der MST festzustellen.

Auf Basis des Übersichtsartikel von Kraemer und Ratamess (2005) zufolge hätten beide MST-Protokolle ebenfalls zu signifikanten hormonellen Auslenkungen des hGH führen müssen. Über die Gründe für das Ausbleiben dieser Reaktionen kann nur spekuliert werden. Einen möglichen Ansatzpunkt stellt die Belastungskonfiguration dar. Neben einer hohen Arbeit, die in beiden MST-Protokollen gegeben war, ist vor allem die metabolische Beanspruchung des Organismus für eine hohe hGH-Ausschüttung erforderlich. Es besteht durchaus die Möglichkeit, dass die Satzpausen mit 2-3 Minuten Dauer zu lang und die kontinuierliche Spannungsdauer pro Satz zu kurz waren, um die notwendige Laktatakkumulation - trotz hoher Arbeit - für eine hohe hGH-Ausschüttung herzustellen. Die Übungspausen im EST-Belastungsprotokoll stellten sich signifikant länger dar (Kapitel 4.2.1), jedoch scheint die kontinuierlich längere Spannungsdauer im Trainingssatz für die notwendige Laktatakkumulation gesorgt zu haben. Goto et al. (2005)

konnten in diesem Zusammenhang zeigen, das eine kontinuierlich Belastung mit einer höheren Laktatbildung einhergeht als eine insgesamt gleiche, aber mit durch Pausen unterbrochene Spannungsdauer.

Die signifikant erhöhten Cortisolwerte der EST können ihren Ursprung ebenfalls in der langsameren Bewegungsausführung der konzentrischen und exzentrischen Phase finden, wobei eine langsame Ausführung der exzentrischen Bewegungsphase zu geringeren Laktat- und Cortisolwerten führt als eine langsame Ausführung der konzentrischen Phase. Hinsichtlich der hGH-Auslenkungen sind keine Unterschiede bei der fraktionellen Verteilung der langsamen Bewegungsausführung festzustellen (Goto et al., 2009).

Die Einordnung der vorliegenden Ergebnisse in die Literatur ist durch Unterschiede in den Trainingsprogrammen sowie die teilweise fehlende Quantifizierung der Bewegungsausführung erschwert. Im Folgenden werden die vergleichbaren Studien vorgestellt, bezüglich detaillierter Studieninformationen und Belastungskonfigurationen der herangezogenen Studien wird auf das Kapitel 2.1.3 verwiesen.

Mulligan et al. (1996) verglichen die akuten hormonellen Auslenkungen eines EST- und MST-Ganzkörpertrainings bei 10 trainierten Frauen miteinander. Beide Trainingsformen führten zu signifikanten hormonellen Auslenkungen von Cortisol und hGH, wobei das MST zu signifikant höheren Auslenkungen beider Parameter als das EST führte. Die höheren Auslenkungen des hGH der MST im Vergleich zum EST führen die Autoren auf ein höheres Trainingsvolumen sowie die größere anaerobe Intensität mit einhergehender Laktatbildung zurück. Laktat kann als ein Hauptkandidat für die Ausschüttung des hGH betrachtet werden (Godfrey, Madgwick, & Whyte, 2003).

Konträr zu diesem Befund sind in der vorliegenden Studie signifikant höhere hGH-Werte der EST gegenüber der MST (Woche 1 und 6) bzw. tendenzielle höhere hGH-Werte gegenüber der MSTex (Woche 6) zu finden. Es ist davon auszugehen, dass sich die Bewegungsausführung des EST zwischen der Studie von Mulligan et al. (kontrolliert-zügige Bewegung) von der hier durchgeführten Ausführung (4 sec. konz., 1 sec. iso., 4 sec. exz.) unterschied. Somit könnten die höheren hGH-Werte durch die höhere Spannungsdauer der EST im Vergleich zur MST ausgelöst worden sein. An dieser Stelle sei auf die Bedeutung einer kritischen Spannungshöhe im regulären Krafttraining hingewiesen: Hunter, Segelhorst und Snyder (2003) konnten im Vergleich eines traditionellen Krafttrainings (1 sec. konz., 1 sec. exz. mit 65% 1 RM) mit einem Superslow-Training (10 sec. konz., 5 sec. exz. mit 25% 1 RM) signifikant geringere Laktatauslenkungen im Superslow-Training feststellen. Die bei Mulligan et al. (1996) nachgewiesenen höher Cortisolausschüttungen führen die Autoren ebenfalls auf das höhere Trainingsvolumen mit dem assoziierten anaeroben Stoffwechsel zurück. Dies steht im Widerspruch zu den hier gefundenen höheren Cortisolwerten der EST in Woche 6, wobei wiederum die oben angeführten Mechanismen zum hGH als Begründung dienen.

Gotshalk et al. (1997) fanden analog zu Mulligan et al. (1996) signifikant höhere Cortisol- und hGH-Ausschüttungen nach einem MST im Vergleich zu einem EST. Die widersprüchlichen Ergebnisse der vorliegenden Studie verdeutlichen nochmal die hohe Bedeutung der Spannungsdauer für die Ausschüttung von Cortisol und hGH und implizieren somit eine Abkehr von der alleinigen Betrachtung des Trainingsvolumens bzw. der Arbeit zur Erklärung akuter Belastungsreaktionen. Zusätzlich zu Cortisol und hGH wurden die Auslenkungen des Testosterons

betrachtet. In beiden Gruppen zeigten sich nach dem Training signifikant erhöhte Werte, wobei sich diese in der MST statistisch bedeutsam höher als in der EST darstellten. Diese Gruppenunterschiede sind in der vorliegenden Studie nicht festzustellen, alle Trainingsformen weisen signifikante Auslenkungen nach Belastungsende mit nicht feststellbaren Gruppenunterschieden auf. Somit scheint neben dem Trainingsvolumen bzw. der Arbeit (Gotshalk et al., 1997) der gesamten Spannungsdauer eine ebenbürtige Rolle bei den Auslenkungen des Testosterons zuzukommen.

In einer Serien von Studien untersuchten Kraemer et al. (Kraemer et al., 1993; Kraemer et al., 1991; Kraemer et al., 1990) die Auswirkungen unterschiedlicher Wiederholungszahlen und Satzpausen im Rahmen eine Ganzkörper-MST auf das Testosteron, Cortisol, hGH und IGF-1. Bezüglich der Testosteronausschüttung zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Protokollen, wohingegen eine kürzere Satzpause (1 Minuten) bei 10 Wiederholungen zu signifikant höheren Auslenkungen des Cortisols und hGH sowie dem IGF-1 nach Belastungsende führten als längere Satzpausen (3 Minuten) und/oder 5 Wiederholungen. Vergleicht man diese Ergebnisse mit der vorliegenden Studie, so fallen die ausbleibenden Reaktionen des hGH ins Auge. Ein möglicher Grund für diesen Unterschied ist in der Übungsreihenfolge zu finden: in der Studienserien von Kraemer et al. (Kraemer et al., 1993; Kraemer et al., 1991; Kraemer et al., 1990) wurde als letzte Übung des Trainingsprotokolls die Beinpresse ausgeführt, welche große Muskelgruppen beansprucht und somit die Mechanismen zu einer verstärkten hGH-Produktion kurz vor den Blutentnahmen nach Belastungsende ansprach. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Übungsreihenfolge von großen zu kleinen Muskelgruppen bzw. von mehrgelenkigen zu eingelenkigen Übungen aufgebaut.

Die vorliegenden Ergebnisse zur IGF-1 Auslenkung von Kraemer et al. (Kraemer et al., 1993; Kraemer et al., 1991; Kraemer et al., 1990) decken sich mit den vorliegenden Studienergebnissen, es kommt in allen drei Gruppen zu signifikanten hormonellen Auslenkungen. Prinzipiell scheint es bezüglich der IGF-1 Auslenkungen drei Mechanismen zu geben (Borst et al., 2001; Fleck & Kraemer, 2004):

(1) eine krafttrainingsinduzierte hGH Ausschüttung führt zu verstärkter IGF-1-Produktion der Leber,
(2) der Krafttrainingsreiz bewirkt eine hGH Ausschüttung, welche direkt IGF-1 stimuliert,
(3) die trainierte Muskulatur erhöhte die muskuläre IGF-1-Produktion unabhängig vom zirkulierenden hGH und IGF-1.

Kraemer und Ratamess (2005) konstatieren noch Forschungsbedarf hinsichtlich der zugrundeliegenden Mechanismen und Zeitverläufe. Unter Berücksichtigung der vorliegenden hGH-Ausschüttungen und des Betrachtungszeitraumes der hormonellen Auslenkungen ist der Mechanismus (1) für die weiteren akuten Betrachtungen der IGF-1 nicht relevant. Die signifikant erhöhten hGH-Ausschüttungen der EST lassen sowohl eine durch den Mechanismus (2) und (3) induzierte IGF-1 Stimulation zu. Die fehlenden hGH-Auslenkungen durch die MST-Belastungsprotokolle lassen lediglich den Mechanismus (3) in Betracht kommen. Schlussendlich bietet die hormonelle Reaktion nach dem EST-Belastungsprotokoll größeres Potenzial für Zellwachstum und Reparaturmechanismen, wobei der zeitlich verzögerte Mechanismus (1) nach dem EST zusätzlich zum Tragen kommt.

Smilios et al. (2003) verdeutlichen die Bedeutung der Anzahl der Trainingssätze in Abhängigkeit vom durchgeführten Krafttraining. Im Rahmen eines Hypertrophie-orientierten Krafttrainings führt die Erhöhung der Satzzahl zu einer Erhöhung der akuten Auslenkungen von Cortisol und hGH. Die optimale Satzzahl lag bei 4 Sätzen pro Übung, darüber hinaus zog eine Erhöhung der Satzzahl keine weitere Erhöhung der hormonellen Auslenkungen mehr nach sich. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den unbedeutenden akuten Änderungen des Cortisols und hGH in der vorliegenden Studie. Als Gründe könnten zu einen die kürzeren Satzpause (2 min. gegenüber 2-3 min.) in Betracht kommen (Kraemer et al., 1990), zum anderen die Übungsauswahl. Während in der vorliegenden Studie lediglich Übungen an Krafttrainingsmaschinen durchgeführt wurden, verwendeten Smilios et al. (2003) freie Übungen, die eine höhere Aktivität der stabilisierenden Muskulatur fordern. Denkbar ist weiterhin, dass die hier durchgeführten drei Trainingssätze pro Übung in einem Indifferenzbereich zwischen 2 und 4 Sätzen liegen, der erhöhte hormonelle Auslenkungen vermissen lässt. Anlass für diese Vermutung geben die geringen Auslenkungen bei 2 Sätzen:

> Differences in the intensity of tension, as a function of the applied load, and the amount of tension, as a function of total work, imposed on the muscle may cause specific intracellular needs, which may differentiate hormonal actions within the cell. (Smilios et al., 2003, pp. 652–653)

Studien, welche die Auswirkungen eines intendiert-explosiven mit eine kontrolliert-zügigen Hypertrophie-orientierten Krafttrainings verglichen, liegen nach Wissen des Autors nicht vor. Zwei Studien (Crewther et al., 2008; McCaulley et al., 2009) haben sich im Rahmen eines Vergleiches die intendiert-explosiven Kontraktionen betrachtet, wobei lediglich zwei bzw. eine Übung durchgeführt wurde.

Crewther et al. (2008) konnten für ein intendiert-explosives Training gegen hohe Lasten (6 x 4 Wdh. x 88% 1 RM) keine statistisch bedeutsamen Auslenkungen von Testosteron und Cortisol zeigen, wohingegen eine kontrolliert-zügiges Hypertrophietraining (10 x 10 Wdh. x 75% 1 RM) zu signifikanten Auslenkungen des Testosteron und Cortisol führte. Die Autoren führen die hohen hormonellen Auslenkungen des Hypertrophietrainings auf die große Bedeutung des Trainingsvolumens zurück, Intensität, Pausenzeiten sowie Bewegungsausführung seien sekundär. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen darauf hin, dass der Bewegungsausführung eine durchaus große Bedeutung, wenn nicht sogar die größte Bedeutung, beizumessen ist.

McCaulley et al. (2009) zeigten im Rahmen einen volumenparallelisierten Methodenvergleichs, dass es lediglich im Hypertrophie-orientierten Belastungsprotokoll zu signifikanten hormonellen Testosteron- und Cortisol-Auslenkungen im Anschluss an das Training kommt. Im Vergleich zu vorliegenden Studie können die signifikanten Erhöhungen der Testosteronkonzentration bestätigt werden, bedeutsam Cortisolauslenkungen bleiben aus. Ein Grund hierfür könnte in den längeren Satzpausen liegen.

Neben den akuten hormonellen Auslenkungen sind ebenfalls die Veränderungen dieser im Verlauf des 6-wöchigen Trainingsprozesses von Interesse. Betrachtet man die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung, so zeigen sich als wichtigstes Ergebnis signifikant höhere akute IGF-1 Auslenkungen beider MST-Gruppen zum zweiten Messzeitpunkt (Woche 6). Dieses Ergebnis wird von Borst et al. (2001) bestätigt. Die Autoren fanden nach einem 25-wöchigem

Trainingsprogramm sowohl in der EST als MST signifikante Zunahmen in der akuten IGF-1 Ausschüttung.
Als Grund für die hier gefundene höhere akute IGF-1 Ausschüttung der MST-Gruppen kommt eine erhöhte, trainingsinduzierte akute hGH-Ausschüttung nicht in Betracht. Diese hat sich in beiden MST-Gruppen von Messzeitpunkt 1 zu 2 nicht verändert. Folglich scheint, unter Berücksichtigung der unveränderten basalen hGH-Konzentrationen (vgl. Ahtiainen et al., 2003; Marx et al., 2001), nur eine Zunahme der trainingsinduzierte, muskuläre stimulierten IGF-1 Ausschüttung in Betracht zu kommen Betrachtet man die Veränderungen im Trainingsvolumen der drei Trainingsgruppen, so zeigt sich für alle Gruppen ein signifikante Zunahme des Trainingsvolumens (vgl. Kapitel 4.2.4). Die prozentualen Veränderungen zwischen den Gruppen unterscheiden sich dabei nicht. Somit könnte nur die Überschreitung eines gesamten kritischen Trainingsvolumens zu der IGF-1 Erhöhung in der MST und MSTex geführt haben. Hierbei scheint es unbedeutend, ob die Kontraktion kontrolliert-zügig oder intendiert-explosiv ausgeführt wird. An dieser Stelle muss einschränkend angemerkt werden, dass die AUC_i des IGF-1 in Woche 1 tendenziell bzw. signifikant höhere Werte der EST gegenüber der MST bzw. MSTex aufwies und diese sich erst zum zweiten Messzeitpunkt nicht mehr statistisch bedeutsam unterscheiden. Im Rahmen dieses Vergleichs sollte somit immer die höhere hGH-Ausschüttung der EST zu beiden Messzeitpunkten bedacht werden, die über die GH/IGF-Achse die IGF-1 Ausschüttung stimulieren kann. Folglich stellt ein EST die effektiver Belastungsform für die Stimulierung der Ausschüttung von Wachstumsfaktoren dar.

Marx et al. (2001) konnten nach einem 24-wöchigen Trainingsprogramm sowohl in der EST als MST signifikante Zunahmen der basalen IGF-1 Konzentration nachweisen. In der vorliegenden Studie zeigt sich keine Zunahme der Ruhekonzentration an IGF-1 in allen drei Gruppen. Als Mechanismus für die Erhöhung käme eine Zunahme der nächtlichen hGH-Konzentration in Betracht, die zu einer verstärkten IGF-1 Produktion durch die Leber führt.

Weitere Faktoren, welche die IGF-1 Produktion beeinflussen, sind die Qualität und Quantität der Ernährung (Hollmann et al., 2009, S. 200). Dieser Faktor wurde durch einen standardisierten Messzeitpunkt am Morgen bei gleichen Ernährungsgewohnheiten (Ernährungsprotokoll) in den Wochen 1 und 6 kontrolliert.

Ein weiteres Ergebnis der Veränderungen der hormonellen Veränderungen im Untersuchungsverlauf ist die akute höhere Testosteronausschüttung der EST in Woche 1 im Vergleich zur Woche 6 zu diskutieren. Die basalen Testosteronkonzentrationen haben sich nicht verändert, was sich mit den Befunden anderer Studien deckt (Ahtiainen et al., 2003; McCall et al., 1999; Ostrowski et al., 1997). Ahtiainen et al. (2003) weisen darauf hin, dass es im Verlaufe eines Trainingsprozesses notwendig sei, dass Trainingsvolumen zu erhöhen, um gleiche hohe Auslenkungen der Testosteronkonzentration wie zu Trainingsbeginn zu erzielen. Die akute Erhöhung der Testosteronkonzentration der EST könnte somit auf einem höheren Anstieg des Trainingsvolumens im Vergleich zu den MST-Belastungsprotokollen hindeuten. Diese Vermutung kann auf Basis der Betrachtungen des Trainingsvolumens nicht bestätigt werden, es zeigen sich keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zwischen den prozentualen Veränderungen (vgl. Kapitel 4.2.4).

5 Zusammenfassung, Methodenkritik und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen von drei unterschiedlichen Bewegungsausführungen im Hypertrophie-orientierten Krafttraining über einen Zeitraum von 6 Wochen betrachtet:

1. intendiert-explosives Mehrsatz-Training (MSTex), 3 Sätze à 6-9 Wiederholungen bei 80% 1 RM bei einer fraktionellen Verteilung der Kontraktionsarten von intendiert-explosiv konzentrisch, 0 sec. isometrisch und 1 sec. exzentrisch,
2. kontrolliert-zügiges Mehrsatz-Training (MST), 3 Sätze à 6-9 Wiederholungen bei 80% 1 RM bei einer fraktionellen Verteilung der Kontraktionsarten von 1 sec. konzentrisch, 0.5 sec. isometrisch und 1 sec. exzentrisch,
3. betont langsames Einsatz-Training (EST), 1 Satz à 6-9 Wiederholungen bei 65% 1 RM bei einer fraktionellen Verteilung der Kontraktionsarten von 4 sec. konzentrisch, 0.5 sec. isometrisch und 4 sec. exzentrisch.

Ziel der Studie war es, diejenige sportartbegleitende Krafttrainingsform im Muskelaufbautraining zu identifizieren, die zu einer Erhöhung ausgewählter Variablen der muskulären Leistung unter Berücksichtigung von Maximal- und Sprungkraftveränderungen sowie akuter hormoneller Auslenkungen führt. Den theoretischen Ausgangspunkt der Studie bildete die Beobachtung von Behm und Sale (1993a), dass der schnellkraftfördernde Effekt einer Krafttrainingsform in erster Linie von der Absicht, eine schnelle Bewegung auszuführen, abhängt und nicht von einer schnellen Bewegung an sich.

5.1 Zusammenfassende Ergebnisdiskussion

Der Ergebnisdarstellung und Diskussion ging eine Reliabilitätsbetrachtung von 67 möglichen Variablen, die zur Schnellkraftoperationalisierung auf Basis der theoretischen Vorbetrachtungen geeignet erschienen, voraus. Die **Überprüfung der Test-Retest-Reliabilität** erfolgte mittels der Test-Retest-Methode unter Berücksichtigung der absoluten Reliabilität, mittleren Stabilität und relativen Reliabilität (Hopkins, 2000a; Goebel, 2002). Die Testübungen für die Erfassung der muskulären Leistung waren die Brust- und Beinpresse, die Testlasten betrugen 80% und 50% des 1 RM. Es konnten 16 reliable Variablen identifiziert werden, von denen sechs weitere Variablen auf Basis einer Faktorenanalyse ausgeschlossen wurden. Die verbleibenden 10 Variablen zeigten überwiegend eine sehr gute bis ausgezeichnete absolute und relative Reliabilität sowie mittlere Stabilität:

1. F_{max} maximale momentane Kraft
2. RFD_{max} maximale momentane Kraftentwicklung
3. P_{max} maximale momentane Leistung
4. RPD_{max} maximale momentane Leistungsentwicklung
5. v_{max} maximale momentane Geschwindigkeit
6. RVD_{max} maximale momentane Geschwindigkeitsentwicklung
7. DOCC Dauer der konzentrischen Phase
8. t_{vmax} Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit
9. F_{Pmax} Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung
10. d_{max} zurückgelegter Gesamtweg

Die **Betrachtung der Trainingsdaten** zeigte für alle drei Trainingsgruppen über den Untersuchungszeitraum von 6 Wochen eine signifikante Zunahme des Trainingsvolumens, die prozentual betrachtet in allen Gruppen gleich hoch ausfiel. Hierbei offenbarten sich in beiden MST-Belastungsprotokollen im Vergleich zur EST sowohl zu Beginn als zum Ende ein signifikant höheres Trainingsvolumen, wobei sich die MST-Protokolle zu keinem Zeitpunkt voneinander unterschieden.

Für die weitergehende Beurteilung von Trainingseffekten ist es entscheidend, den applizierten Reiz in seiner Qualität und Quantität ausreichend genau zu bestimmen. Auf Basis der mechano-biologischen Determinanten der Skelettmuskeladaptation (Toigo & Boutellier, 2006) erfolgte eine Überprüfung der Belastungskonfiguration anhand einer exemplarischen Trainingseinheit für die Trainings- und Testübungen Brust- und Beinpresse. Alle erfassten Determinanten wiesen keine Unterschiede zwischen der MST und MSTex auf. Eine intendiert-explosive Bewegungsausführung bedingte keine kürzere Spannungsdauer der konzentrischen, exzentrischen und isometrischen Kontraktionsphase im Vergleich zu einer kontrolliert-zügigen Bewegungsausführung gegen hohe Lasten. Unterschiede zeigten sich erst bei der Betrachtung der dynamischen Charakteristika. Die maximale Leistung (P_{max}) der exemplarischen Trainingssätze der Bein- und Brustpresse war in der MSTex signifikant höher als in der MST und EST. Dieser bedeutsame Unterschied weist auf ein größeres Adaptationspotenzial des MSTex-Belastungsprotokolls im Hinblick auf die muskuläre Leistung hin. In Bezug auf das Intentionalitätsproblem der Bewegungsorganisation (vgl. Kapitel 2) ist eine höhere maximale Leistung in der MSTex gegenüber der MST als biomechanischer Indikator für die gelungene Umsetzung der intendiert-explosiven Kontraktionen anzusehen.

Der Vergleich beider MST-Belastungsprotokolle mit der EST offenbarte eine signifikant längere Spannungsdauer der EST, wobei die Spannungshöhe zum Teil signifikant geringere Werte aufweist. An dieser Stelle wird die inverse Proportionalität von Spannungsdauer und Spannungshöhe deutlich (Sakamoto & Sinclair, 2006). Die maximale und die integrierte Leistung wiesen in der EST gegenüber der MST und MSTex erwartungsgemäß signifikant geringere Werte auf. Die signifikant höheren Leistungswerte der MSTex gegenüber der EST und MST in beiden Trainingsübungen verdeutlichen die gelungene Umsetzung der intendiert-explosiven Bewegungsausführung in dieser Gruppe. Im Verlauf der exemplarischen Trainingseinheit offenbarte sich innerhalb der MSTex für beide Trainingsübungen eine signifikante Abnahme der P_{max} mit zunehmender Wiederholungszahl, in der MST lediglich für die Brustpresse. Die Abnahme der P_{max} ist als Ermüdungsaufstockung zu betrachten, die bei einer intendiert-explosiven Bewegungsausführung höher ausfällt. Diese Ermüdungsaufstockung, bedingt durch die hohen Lasten, könnte zur Ausprägung ungünstiger Bewegungsmuster beitragen (Cronin et al., 2001b).

Im Hinblick auf die eingangs formulierte Fragestellung lässt sich für ein Hypertrophie-orientiertes Krafttraining feststellen, dass ein EST, MST und MSTex in den Testübungen Brust- und Beinpresse sowie Bizeps-Curl zu signifikanten Verbesserungen der **isometrischen und dynamischen Maximalkraft** innerhalb von 6 Wochen führen. Es sind keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zwischen den Gruppen sowie im Vergleich zur Kontrollgruppe festzustellen. Die beobachteten, statistisch aber nicht bedeutsamen Maximalkraftzuwächse der Kontrollgruppe sind darauf zurückzuführen, dass die Probanden der Kontrollgruppe angewiesen waren, ihre bisherigen Krafttrainingsgewohnheiten beizubehalten. Eine andere Vorgehensweise ist bei zuvor trainierten Probanden nicht sinnvoll. Unter Berücksichtigung der dargestellten Belastungskonfiguration können signifikant unterschiedliche Belastungskonfigurationen hinsichtlich der Spannungsdauer und -höhe, der geleisteten Arbeit sowie der dynamischen Charakteristika gleichwertige Anpassungen der Maximalkraft hervorrufen. Es scheint, dass eine signifikant höhere Spannungsdauer bei einem Training bis zum Muskelversagen das mehr als 3-fach geringere Trainingsvolumen bzw. die mehr als 3-fach geringere Arbeit durch eine einmalige höhere metabolische Beanspruchung „kompensiert“ und zu gleichwertigen morphologischen Anpassungen führen kann (Bowtell et al., 2003; Wirtz et al., 2009; Gillies et al., 2006). Hier können unterschiedliche Ermüdungsszenarien (Toigo, 2006b) offensichtlich gleichwertige Ergebnisse bedingen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Betrachtung der praktischen Bedeutsamkeit der Maximalkraftveränderungen. Die höheren Effekte der dynamischen Maximalkraft gegenüber der isometrischen Maximalkraft in der MST und MSTex im Vergleich zur EST deuten auf größere neuronale Anpassungen der MST-Belastungsprotokolle hin (Folland & Williams, 2007, p. 155; Rutherford & Jones, 1986). Zum einen kann durch das höhere Trainingsvolumen eine höhere koordinative Anpassung mit verbesserter Rekrutierung und Aktivierung der aufgabenspezifischen Muskulatur erzielt worden sein (Sale, MacDougall, Upton, & McComas, 1983). Die Tatsache, dass pro Trainingseinheit die 3-fache Anzahl an Wiederholungen durchgeführt wurde, erlaubt größere Anpassungen an die Trainingsbewegung, die gleichzeitig auch die Testbewegung darstellte. Zum anderen zeigte eine tiefergehende Analyse der Trainingsdaten der MST im Vergleich zur EST eine deutlich höhere RFD_{max} (Schmidt, 2008), welche zu den höheren Effekten des 1 RM der MST und somit auch der MSTex gegenüber der EST geführt haben könnte.

Für die Testübung Beinstrecken sind in der EST im Vergleich zu den anderen Trainingsgruppen und zur Kontrollgruppe geringere, aber statistisch nicht bedeutsame Unterschiede festzustellen. Ursachen hierfür könnten in der Umsetzung der Belastungsvorgaben sowie in geräteseitigen Faktoren zu finden sein, die eine optimale muskuläre Belastung bei langsamer Bewegungsausführung der EST erschwerten. Der signifikante (MST und MSTex) sowie tendenzielle (EST) Unterschied im Vergleich zur KON ist auf die hohe Spezifität dieser Trainings- und Testübung zurückzuführen.

Die tendenzielle Verbesserung der Sprunghöhe im Squat Jump der MSTex könnte durch neuronale und elastische Adaptationen des Muskel-Sehnen-Komplexes bei intendiert-explosiver Bewegungsausführung bedingt sein (Harris et al., 2000, p. 19). Die geringen Transfereffekte auf sportmotorische Leistungen entsprechen bei fehlenden spezifischen Trainingsreizen den Ergebnissen aus der Literatur (Young, 2006; Leirdal et al., 2007).

Einer Betrachtung der Variablen der muskulären Leistung ging die Betrachtung der **muskulären Vorspannung** voraus. Vor explosiven Bewegungen sichert eine submaximale muskuläre Vorspannung die Körperposition bzw. die Position von zu bewegenden Objekten. Diese kann in Abhängigkeit von ihrer Höhe negative Auswirkungen auf die Variablen der Schnellkraftoperationalisierung haben. Die Testanweisung an die Probanden der vorliegenden Untersuchung sah die Einnahme einer individuellen, geringen muskulären Vorspannung vor. Auf das Kommando des Versuchsleiters wurde diese in eine maximal explosive und kräftige konzentrische Kontraktion umgesetzt.

Die Testübung Brustpresse wies keine Unterschiede zwischen der muskulären Vorspannung im Pre- und Post-Test sowie zwischen den Testlasten von 80% und 50% 1 RM auf. Die Testübung Beinpresse zeigte mit Ausnahme signifikanter Unterschiede im Pre-Test zwischen den Gruppen bei 50% 1 RM und im Pre-Post-Vergleich der EST keine Unterschiede. Insgesamt lag die muskuläre Vorspannung in einem geringen und eng eingegrenzten Bereich von 5-15% des 1 RM. Für diesen Bereich liegen bis dato keine empirischen Daten über den Einfluss der muskulären Vorspannung auf die Variablen der muskulären Leistung vor.

Die **Variablen der muskulären Leistung** zeigten sowohl gleiche als auch unterschiedliche Ergebnisse für die Testübungen Brustpresse und Beinpresse in den drei Belastungsprotokollen. Gemeinsam konnte für beide Testübungen festgestellt werden, dass zum ersten Messzeitpunkt zwischen den Gruppen bei einem EST- und MST-Belastungsprotokoll keine statistisch bedeutsamen Unterschiede bestehen.

Unterschiede offenbarten sich zum zweiten Messzeitpunkt: die MSTex zeigte in der Brustpresse bei 50% 1 RM eine signifikant höhere RFD_{max} als die EST und MST, in den Leistungsvariablen P_{max} und RPD_{max} waren signifikant höhere Werte gegenüber der EST zu erkennen. Für die Beinpresse gab es keine bedeutsamen Unterschiede zwischen der MSTex und den anderen beiden Trainingsgruppen. Im Vergleich zur Kontrollgruppe offenbarte keine Trainingsgruppe signifikante Unterschiede in den Variablen der muskulären Leistung bei der Testübung Beinpresse. Für die Brustpresse hingegen waren die Zeitvariablen DOCC und t_{vmax} in der MST gegenüber der KON zum zweiten Messzeitpunkt signifikant verringert. Die MSTex offenbarte eine signifikant höhere RFD_{max} bei 50% 1 RM sowie eine signifikant höhere RPD_{max} bei 80% 1 RM gegenüber der KON.

Die **Testübung Brustpresse** wies innerhalb der Gruppen eine eindeutige lastspezifische Verbesserung beider MST-Belastungsprotokolle bei 80% 1 RM bezüglich der geschwindigkeitsabhängigen Variablen der muskulären Leistung (P_{max}, RPD_{max}, v_{max}, RVD_{max}) auf. Es sind deutlich höhere Effekte bei 80% 1 RM im Vergleich zu 50% 1 RM zu erkennen. Das EST-Belastungsprotokoll offenbarte keine Veränderungen in den Variablen der muskulären Leistung.

Für die **Testübung Beinpresse** war neben den trainingslastspezifischen Verbesserungen in allen Trainingsgruppen ein Übertrag der geschwindigkeitsabhängigen Variablen (P_{max}, RPD_{max}, v_{max}, RVD_{max}) auf die unspezifische Testlast von 50% 1 RM in der MST und MSTex zu erkennen. Diese Beobachtung kann als größere neuronale Adaptation der MST-Belastungsprotokolle in der Testübung Beinpresse interpretiert werden. Analog zur Testübung Brustpresse wiesen die geschwindigkeits- und zeitabhängigen Variablen sehr hohe Effekte bei einer Testlast von 80% auf. Aus dem Betrachtungswinkel der praktischen Bedeutsamkeit kann von einer höheren lastspezifischen Anpassung gesprochen werden. Auffällig sind die signifikanten Verbesserungen der F_{max} und P_{max} der EST bei 50% 1 RM: die langsame Bewegungsausführung verbesserte die Kraftkomponente der muskulären Leistung bei der unspezifischen Testlast. Crewther, Cronin und Keogh (2005, p. 980) diskutieren in diesem Zusammenhang die größere Beanspruchung des kontraktilen Apparats durch eine langsame konzentrische Bewegungsausführung. Diese Vermutung konnte von Mester et al. (2010) bestätigt werden.

Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse der Variablen der muskulären Leistung die Bedeutung der koordinativen Anpassungen im Krafttraining (Enoka, 2008) und bestätigen die klassische Theorie der Geschwindigkeitsspezifität, basierend auf isokinetisch gewonnenen Forschungsergebnissen (vgl. Dvir, 2004; Brown & Brown, 2000; Morrissey et al., 1995; Baltzopoulos & Brodie, 1989; Bell & Wenger, 1992). Unter Berücksichtigung der gleichwertigen morphologischen Anpassungen auf Basis der isometrischen Maximalkraftveränderungen, der höheren Effekte der MST und MSTex für die dynamische Maximalkraft (1 RM) sowie der vermuteten Muskelfaserverschiebung zum Typ MHC IIa (Andersen & Aagaard, 2000; Folland & Williams, 2007; Harridge, 2007), können beiden MST-Belastungsprotokollen bei der Testübung Brustpresse höhere neuronale Anpassungspotenziale als dem EST bescheinigt werden. Für die Beinpresse zeigten sich diese nur bei testlastspezifischen zeitabhängigen Variablen. Ein Grund hierfür stellt die Tatsache dar, dass es sich bei den Probanden um Sportstudierende handelte, die im laufenden Semester ihren, hauptsächlich den Unterkörper belastenden, Anforderungen im Studium nachkamen. Dies könnte die Unterschiede zwischen den Belastungsprotokollen verwischt haben.

Betrachtet man die Inferenzstatistik, so ist auf Basis der signifikanten Unterschiede zur Kontrollgruppe für die Kraft- und Leistungsentwicklung ein MSTex das Belastungsprotokoll der Wahl, für die Verbesserung der Zeitkomponenten hingegen ein MST.

Das Hauptergebnis der Betrachtung der **hormonellen Auslenkungen** stellte die signifikant höhere hGH-Auslenkung der EST in Woche 1 und 6 dar, wohingegen in beiden MST-Belastungsprotokollen keine bedeutsamen Veränderungen zu erkennen waren. Die höhere hGH-Ausschüttung kann eindeutig auf eine höhere Gesamtspannungsdauer und den damit einhergehenden metabolischen Stress in der EST zurückgeführt werden (Goto et al., 2009; Goto et al., 2008). Die aus der Literatur zu erwartende ebenfalls hohe hGH-Ausschüttung bei

MST-Belastungsprotokollen blieb aus (Kraemer & Ratamess, 2005). Als mögliche Ursachen sind die 2 bis 3-minütigen Satzpausen, die die Akkumulation des metabolischen Stresses unterbrachen, in Betracht zu ziehen. Die Testosteronkonzentration zeigte erwartungsgemäß für alle drei Belastungsprotokolle signifikante Auslenkungen, wobei zwischen den Gruppen keine Unterschiede zu erkennen waren. Die Cortisolauslenkungen wiesen in der Woche 1 in allen drei Gruppen keine signifikanten Veränderungen auf, zum zweiten Messzeitpunkt offenbarte nur die EST statistisch bedeutsame Auslenkungen.

Die Beurteilung der Veränderung der hormonellen Reaktionen vom ersten (Woche 1) zum zweiten (Woche 6) Messzeitpunkt erfolgte auf Basis der AUC_i. Für die hormonellen Parameter Testosteron, Cortisol und hGH zeigten sich keine bedeutsamen Veränderungen. Im Hinblick auf das IGF-1 wiesen die Belastungsprotokolle MST und MSTex zum zweiten Messzeitpunkt signifikant höhere Auslenkungen auf. Diese Veränderung ist unter Berücksichtigung der unveränderten basalen hGH-Werte durch eine Zunahme der trainingsinduzierten, muskulär stimulierten IGF-1 Ausschüttung in Folge des gesteigerten Trainingsvolumens zu erklären.

5.2 Abgeleitete Empfehlungen für die Krafttrainingspraxis

Betrachtet man die dargestellten Ergebnisse im Gesamtkontext, so lassen sich aus der vorliegenden Arbeit sieben Kernaussagen ableiten:

1. Die EST-, MST- und MSTex-Belastungsprotokolle führen zu gleichwertigen Verbesserungen der isometrischen und dynamischen Maximalkraft.
2. Die MST-Belastungsprotokolle weisen eine höhere praktische Bedeutsamkeit zur Verbesserung der dynamischen Maximalkraft auf.
3. Die Ergebnisse der Variablen der muskulären Leistung bestätigen die Theorie der geschwindigkeitsspezifischen Anpassungen im Krafttraining.
4. Ein MSTex-Belastungsprotokoll ist geeignet, um die Kraft- und Leistungskomponente der muskulären Leistung zu entwickeln.
5. Für die Verbesserung der Zeitkomponenten ist ein MST-Belastungsprotokoll die Trainingsform der Wahl.
6. Ein EST führt zu signifikant höheren akuten hGH-Auslenkungen nach dem Training.
7. Die MST-Belastungsprotokolle erhöhen die trainingsinduzierte, muskuläre stimulierte IGF-1 Ausschüttung nach einem 6-wöchigen Training.

5.3 Methodenkritik und Ausblick

Das Hauptziel der vorliegenden Untersuchung stellte die Betrachtung der Auswirkungen unterschiedlicher Bewegungsgeschwindigkeiten im Hypertrophie-orientierten Krafttraining auf die Variablen der muskulären Leistung dar. Wie die theoretischen Vorbetrachtungen zeigen konnten, sind die Quantifizierung und Qualifizierung des Trainingsreizes im Sinne eines Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs aus Sicht der Grundlagen- und Anwendungsforschung von großem Interesse. Somit wird für die folgende Methodenkritik der Fokus - neben möglichen Störvariablen bei der Untersuchungsdurchführung - auf der Erfassung und Bewertung der Variablen der muskulären Leistung sowie der Bewegungsausführung liegen.

5.3.1 Variablen der muskulären Leistung

Die Erfassung der muskulären Leistung im Krafttraining ist ein aktueller Forschungsbereich der Sportwissenschaft. Die verwendete Messtechnik stellte zum Zeitpunkt der Untersuchung (2005) den aktuellen Stand der Hard- und Software dar. Die softwareseitige Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mittels selbst programmierter Routinen und Algorithmen. Die seinerzeit vorliegende Software erlaubte nur eine eingeschränkte Betrachtung der Variablen der muskulären Leistung. Für eine Diskussion der einzelnen Berechnungsschritte (Datenglättung, Triggerung der Kraft-Zeit-Kurve) wird auf die ausführliche Darstellung in den Kapiteln 3.5 bis 3.7, Anhang II sowie auf den beiliegenden Datenträger im Anhang verwiesen.

Die Bewertung der muskulären Leistung im Sinne einer Quantifizierung und Qualifizierung orientiert sich zum einen an den mehr oder minder etablierten Variablen der Schnellkraftoperationalisierung auf Basis von isometrischen und isokinetischen Testverfahren. Zum anderen werden die Möglichkeiten einer Kraft-, Weg- und Zeitbestimmung genutzt, um weitere Aussagen über die muskuläre Leistung treffen zu können. Im Folgenden werden kritischen Punkte der vorliegenden Untersuchung beleuchtet und konkrete Ansätze für weitere Forschungsvorhaben geliefert.

Wie in Kapitel 2.4.2 gezeigt werden konnte, kann die so genannte **muskuläre Vorspannung** bei der Erfassung der Maximal- und Schnellkraft einen Einfluss auf die gemessenen Kraftwerte haben. Dabei ist eine muskuläre Vorspannung unter dynamischen Messbedingungen eine unabdingbare Notwendigkeit: vor explosiven Bewegungen sichert eine submaximale muskuläre Vorspannung die Körperposition bzw. die Position von zu bewegenden Objekten. Die vorliegenden empirischen Befunde zur muskulären Vorspannung (vgl. Kapitel 2.4.2) beziehen sich ausschließlich auf isometrische und isokinetische Testbedingungen. Für dynamische Testbedingungen ist ein Forschungsdefizit festzustellen. Die hier erhobenen Daten lassen bei einer individuell wählbaren muskulären Vorspannung Werte zwischen 5% und 15% des 1 RM erkennen. Der Einfluss dieser muskulären Vorspannung auf die Variablen der muskulären Leistung konnte auf Basis der vorliegenden Literaturbefunde nur unzureichend beurteilt werden. Hieraus lässt sich ein erstes zukünftiges Forschungsfeld im Rahmen der Diagnostik der muskulären Leistung ableiten:

Zukünftige Forschungsfrage A:
Welchen Einfluss haben unterschiedliche muskuläre Vorspannungen unter dynamischen Bedingungen und bei verschiedenen Testlasten auf die Variablen der muskulären Leistung?

Für die Einhaltung definierter muskulärer Vorspannungen ist es notwendig, den Probanden ein visuelles oder auditives Feedback bzw. eine Kombination beider Rückmeldungen über die muskuläre Vorspannung zu präsentieren. Nur auf diesem Wege lässt sich die Einhaltung der geforderten muskulären Vorspannungen realisieren. Zum Untersuchungszeitpunkt stand ein solches System nicht zu Verfügung.

Einen weiteren wichtigen Punkt stellt die **Reliabilität** der Variablen der muskulären Leistung dar. Wie die Reliabilitätsbetrachtungen in Kapitel 4.1 zeigen konnten, erfüllte ein Großteil der 67 betrachteten Variablen nicht die in der Literatur (Hopkins, 2000a) geforderten Reliabilitätskriterien. Ebenfalls schien es Unterschiede zwischen den Testübungen und -lasten zu geben. Die hier durchgeführte Reliabilitätsbetrachtung beschränkte sich lediglich auf einen Vergleich der beiden besten Versuche an einem Messtermin mit einem Testleiter und wurde für bei verschiedenen Testübungen und –lasten durchgeführt. Für zukünftige Reliabilitätsuntersuchungen sind mehrere Messtermine (im Optimalfall drei) sowie eine Inter-Rater-Reliabilität, d.h. der Einfluss des Testleiters, auf Basis des hier vorgestellten Vorgehens zu überprüfen.

Zukünftige Forschungsfrage B:
Wie stellt sich die Reliabilität ausgewählter Variablen der muskulären Leistung bei verschiedenen Testübungen und -lasten dar?

Unter Berücksichtigung der Forschungsfrage A und B ergibt sich unmittelbar eine übergeordnete Fragestellung, die beide Ansätze miteinander verknüpft.

Zukünftige Forschungsfrage A+B:
Wie stellt sich die Reliabilität ausgewählter Variablen der muskulären Leistung bei unterschiedlichen muskulären Vorspannungen und verschiedenen Testübungen sowie -lasten dar?

Im Zusammenhang mit der Klärung der Vorspannungs- und Reliabilitätsfragestellungen steht auch die Frage nach der **internen und externen Validität** der Variablen der muskulären Leistung (Mirkov et al., 2004; Wilson & Murphy, 1996; Abernethy et al., 1995). Die Betrachtung der Zusammenhänge der einzelnen Variablen untereinander sowie zur Maximalkraft als auch zu sportmotorischen Tests und Leistungen bedarf weiterer Forschung. Diese stellten nicht das Ziel der vorliegenden Arbeit dar und wurden somit nicht abgedeckt. Einen ersten Schritt in diese Richtung können umfangreiche Korrelationsanalysen der Variablen der muskulären Leistung untereinander und zur isometrischen und dynamischen Maximalkraft sein. Hierauf aufbauend vermögen Regressionsanalysen die Varianzaufklärung von morphologischen und neuronalen Einflussfaktoren auf die Variablen der muskulären Leistung aufzuklären.

Zukünftige Forschungsfrage C
Wie stellt sich der Zusammenhang der Variablen der muskulären Leistung untereinander und in Bezug zur isometrischen und dynamischen Maximalkraft dar?

Zukünftige Forschungsfrage D
Wie hoch ist die Varianzaufklärung von morphologischen und neuronalen Einflussfaktoren an den Variablen der muskulären Leistung?

Um diese Forschungsfragen beantworten zu können, ist eine Quantifizierung der morphologischen und neuronalen Voraussetzungen notwendig. In der vorliegenden Studie wurde lediglich

die Veränderung der isometrischen und dynamischen Maximalkraft betrachtet. Hier können die Veränderungen sowohl morphologischen als auch neuronalen Ursprungs sein.

Im Hinblick auf die **sportmotorischen Anforderungen** ist die Betrachtung der normalisierten Kraft-, Leistungs-, und Geschwindigkeits-Zeit-Verläufe von Bedeutung:

> Future research should move beyond simply examining peak power to investigating variables related to the whole power-, force-, and velocity-time curves during ballistic movements. (Cormie et al., 2008, p. 119)

Neben der reinen Erfassung von maximalen Leistungs-, Kraft- und Geschwindigkeitswerten muss unter sportartspezifischen Gesichtspunkten vielmehr die Bedeutung der ausgewählten Kraftdiagnostik für die jeweilige sportmotorische Leistung herausgestellt werden.

Zukünftige Forschungsfrage E:
Bestehen Zusammenhänge zwischen kraftdiagnostischen und etablierten sportmotorischen Tests? Können die kraftdiagnostischen Verfahren die spezifischen sportmotorischen Anforderungen im Hinblick auf die Kraft-, Leistungs-, Geschwindigkeits- und Zeitverläufe adäquat abbilden?

Unter sportartspezifischen Gesichtspunkten sei auf die Relativierung der Kraftwerte und Variablen der muskulären Leistung auf die Körpergröße (body size) hingewiesen (Jaric, 2002; Cormie, McBride, & McCaulley, 2007b).

5.3.2 Quantifizierung und Qualifizierung des Trainingsreizes

Die auf Basis von Toigo und Boutellier (2006) ergänzten Determinanten der Skelettmuskeladaptation stellen ein Grundgerüst für die Quantifizierung und Qualifizierung des Trainingsreizes dar. Für eine zukünftige Krafttrainingsforschung ist die vollständige Darstellung der ergänzten mechano-biologischen Determinanten (Tabelle 2-23) zu fordern. Auf Basis dieser Darstellung können Trainingsreize bestimmt und verglichen werden.

Die **Vorgabe einer Belastungskonfiguration** ist allerdings nur so gut wie ihre Umsetzung in der Trainingspraxis. In der vorliegenden Studie erfolgte die Kontrolle der Belastungsvorgaben jeder Trainingseinheit durch den Untersuchungsleiter bzw. durch eine von ihm beauftragten Person. Zusätzlich wurde eine weitergehende Betrachtung ausgewählter Variablen der muskulären Leistung in den Trainingsübungen Bein- und Brustpresse einer exemplarischen Trainingseinheit vorgenommen. So konnte zum einen die Umsetzung der Trainingsvorgaben kontrolliert und zum anderen der applizierte Reiz der Testübungen genauer quantifiziert und qualifiziert werden. Die Fokussierung auf die Variablen der muskulären Leistung macht es erforderlich, die im Trainingsreiz enthaltenen Anforderungen an die Probanden zu spezifizieren. Einen möglichen Kritikpunkt stellt die Vorgabe bzw. **Überprüfung der Trainingsvorgaben** seitens des Untersuchungsleiters dar. Die Belastungsvorgaben in der EST und MST wurden verbal durch ein Cueing der gewünschten Spannungsdauer gegeben. In der MSTex wurden die Probanden immer wieder aufgefordert, so explosiv wie möglich gegen die hohen Lasten zu arbeiten. Aktuell erlauben **Biofeedback-Systeme** eine visuelle Steuerung der Trainingsbewegungen (Bewegungsausmaß und -geschwindigkeit). Die kontinuierliche visuelle Vorgabe mit Feedback lässt eine Verbesserung der Trainingsqualität in der EST und MST erwarten und sollte für zukünftige Projekte eingesetzt werden. Der Nutzen genannter Feedbacksysteme (Bewegungsausmaß und -geschwindigkeit) für die Umsetzung der intendiert-explosiven Bewegungsausführung in der

MSTex hingegen ist fraglich. Eine maximal schnelle Bewegungsausführung gegen hohe Lasten führte letztendlich zu einer identischen Spannungsdauer der konzentrischen Phase wie eine kontrolliert-zügige Bewegungsausführung (vgl. Tabelle 4-4 und Tabelle 4-5). Vielmehr ist die Echtzeit-Rückmeldung der Bewegungsqualität in Form von Kraft-, Leistungs- und Geschwindigkeitsvariablen notwendig, die mit aktuellen Biofeedbacksystemen - noch - nicht gegeben werden können. Die Auswertung der vorliegenden Trainingsdaten offenbart einen ersten Ansatzpunkt. Es konnte aufgezeigt werden, dass die maximale und integrierte Leistung eines MSTex-Belastungsprotokolls signifikant höher ist als bei einem EST- bzw. MST-Belastungsprotokoll. Weitergehende Auswertungen der vorliegenden Trainingsdaten finden sich an anderer Stelle (Schmidt, 2008) und betrachten die oben angesprochene Rückmeldung der Bewegungsqualität. Problematisch erscheint hierbei die Abgrenzung der einzelnen Bewegungsphasen der untersuchten Belastungsprotokolle und der darauf beruhenden Berechnungsmethoden der Variablen der muskulären Leistung. Da der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit nicht auf der Quantifizierung und Qualifizierung der mechano-biologischen Determinanten im Training lag, ihre Bedeutung aber offensichtlich ist, ergibt sich folgende Forschungsfrage:

Zukünftige Forschungsfrage F:
Wie können ausgewählte Variablen der muskulären Leistung im Rahmen eines Biofeedback-Systems dazu beitragen, die Bewegungsqualität einer intendiert-explosiven Bewegungsausführung im Trainingsprozess zu sichern und zurückzumelden?

Unabhängig von der zukünftigen Fragestellung ist eine Trainingsdokumentation zu fordern, die - über die Berechnung des Trainingsvolumens und der Spannungsdauer hinaus - Aufschluss über differenzierte kinematische Parameter der eingesetzten Belastungsformen im Trainingsprozess geben kann. Unter Berücksichtigung dieser Anforderung kommt dem Biofeedback-System eine zweite, wichtige Funktion als Trainingsdokumentationssystem zu.

Dieses Biofeedback- und Trainingsdokumentationssystem hat darüber hinaus zu berücksichtigen, ob die Übungsausführung bei explosiven Kontraktionen das **Freigeben des Gewichtes** in Form eines Absprungs (Beinpresse) oder Wegstoßens (Brustpresse) erfolgte. Newton et al. (1996) und Cronin et al. (2001b) stellten geringere Kraft- und Geschwindigkeitswerte bei abgebremsten Bewegungen am Bewegungsende fest. In der vorliegenden Untersuchung bekamen die Probanden der MSTex die Anweisung, das Gewicht zu Bewegungsende komplett freizugeben. Wie die Betrachtung der Trainingsdaten zeigte (Kapitel 4.2) kam es mit zunehmender Wiederholungszahl in der MSTex ebenfalls zu einer Ermüdungsakkumulation. Unter Berücksichtigung der optimalen Bewegungsqualität gilt es zu prüfen, ob eine modifizierte Anwendung traditioneller Schnellkrafttrainingsmethoden bzw. der **zeitkontrollierten Schnellkraftmethode (ZSM)** nach Tidow (1994; 1995) diese Ermüdungserscheinungen bei einer intendiert-explosiven Kontraktion gegen hohen Lasten vermeiden kann.

Zukünftige Fragestellung G:
Wie beeinflussen intendiert-explosive Kontraktionen nach der Methode der submaximalen Wiederholungen bis zur Erschöpfung ohne und mit Wiederholungspause akut und langfristig die Variablen der muskulären Leistung und die Maximalkraft?

5.3.3 Intendiert-explosive Kontraktionen

Im Zusammenhang mit den intendiert-explosiven Kontraktionen steht die Frage nach dem **Intentionalitätsproblem** im Rahmen der Bewegungsorganisation (Nitsch, 1997). Die biomechanische Sichtweise der vorliegenden Arbeit hat das Intentionalitätsproblem bewusst auf eben diese Betrachtungsebene reduziert: es erfolgte eine Kontrolle der Intentionalität im Trainingsprozess über die Variable der konzentrischen Leistung (kP_{max}). Wie die Auswertung exemplarischer Trainingsdaten zeigen konnte (Kapitel 4.2), ist die Umsetzung einer intendiert-explosiven Bewegungsausführung der MSTex auf Basis dieser Variable gelungen. Im Hinblick auf ein interdisziplinäres Verständnis von sportlichem Training ist die integrierte sportwissenschaftliche, psychologische und neurowissenschaftliche Betrachtung von übergeordnetem Interesse. Die Probanden der MSTex erhielten die Trainingsanweisung, die konzentrische und exzentrische Bewegungsphase maximal schnell und explosiv auszuführen, ohne an den Umkehrpunkten der Bewegung zu pausieren (Kapitel 3.1). Die Testanweisung für die Erfassung der muskulären Leistung verlangte von den Probanden aller Gruppen eine „so explosiv und kräftige“ Bewegungsausführung wie möglich (Kapitel 3.4.2). Der erhobene biomechanische Parameter kP_{max} zeigt, dass die Umsetzung in der MSTex im Vergleich zur MST auch bei hoher externer Last gelungen ist. Aus psychologischer Sicht ist es aufschlussreich, diejenigen Intentionen der Probanden zu erhalten, die in direktem Zusammenhang zur Bewegungsausführung stehen.

Zukünftige Forschungsfrage H:
Werden typische und lastspezifische Intentionen gebildet, und wie lassen sich diese auf die Bewegungsrealisation übertragen?

Rapp und Gollhofer (1996) konnten zeigen, dass vorprogrammierte Bewegungen drastisch gestört werden, wenn die Systemeigenschaften - im konkreten Fall die visuelle Rückmeldung bei Tiefsprüngen - verändert werden. Darüber, ob die Kenntnis der **Systemeigenschaften** der Trainings- und Testlast einen Einfluss auf die zentralen Befehle des Nervensystems hat, kann nur spekuliert werden (Schlumberger, 2000; Enoka, 1996). Zur Klärung der Intentionalität bei intendiert-explosiven Kontraktionen im Zusammenhang mit dem Wissen über die zu erwartende Last (Lasterwartung) lässt sich folgende konkrete Fragestellung ableiten:

Zukünftige Forschungsfrage I:
Welchen Einfluss hat die fehlende Information der externen Last auf die gebildeten Intentionen für die intendiert-explosive Bewegungsausführung?

Darüber hinaus können die **Testanweisungen** von Krafttests einen Einfluss auf die erzielten Kraftwerte haben. Die vorliegende Untersuchung nutzte für die Erfassung der Maximalkraft und der muskulären Leistung zwei unterschiedliche Testanweisungen (Kapitel 3.3 und 3.4). Diese haben sich in der Literatur bewährt (Wilson & Murphy, 1996). Entgegen den Empfehlungen in der Literatur wurde in beiden Tests im Sinne der Standardisierung auf ein verbales Motivieren der Probanden verzichtet. So konnten die Bedingungen konstant gehalten werden, jedoch möglicherweise durchgehend etwas geringer Kraftwerte erzielt werden. Denkbar ist ebenfalls, dass die Ausführung von intendiert-explosiven Bewegungen im Training die **Intentionsbildung** einer explosiven Bewegungsausführung in der MSTex begünstigte, was sich in den Pre- und Post-Testungen der muskulären Leistung niedergeschlagen haben könnte.

Ein neurowissenschaftlicher Zugang könnte über seine Untersuchungsverfahren (z.B. EEG, fMRT, TMS, PET) die Möglichkeit bieten, die zentrale Aktivität methodologisch zu qualifizieren

und zu quantifizieren. Die zeitlichen Abläufe von zentraler zu muskulärer Aktivität werden erfasst und tragen zur Aufklärung der Bewegungsorganisation im Rahmen der intendiert-explosiven Kontraktionen bei. Dieser Zugang könnte den koordinativen Übertrag der Kraftgewinne intendiert-explosiver Kontraktionen in die Zielbewegung ermöglichen und zwischen fertigkeitsspezifischen und fertigkeitsunspezifischen Trainingsinhalten (Mechling, 1999; Rostock & Zimmermann, 1997) differenzieren:

Zukünftige Forschungsfrage J:
Welche Intention verbessert ausgewählte Variablen der muskulären Leistung unter Berücksichtigung sportartspezifischer Anforderungen? Eine Bewegung intendiert-explosiv auszuführen oder eine hohe Geschwindigkeit (Abflug-, Endgeschwindigkeit) zu erreichen?

5.3.4 Hormone

Die Bestimmung hormoneller Auslenkungen unterliegt einer Vielzahl von möglichen Einflussfaktoren. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Tageszeit der Blutentnahmen standardisiert, um mögliche Einflüsse einer circadianen Rhythmik auszuschließen (Fleck & Kraemer, 2004). Eine 24-stündige Trainingskarenz sollte den Einfluss vorheriger Belastungen minimieren. An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass eine 24-stündige Trainingskarenz je nach Intensität und Umfang der vorherigen Trainingsbelastungen möglicherweise nicht ausreicht, um Einflüsse auf das basale Niveau der hormonellen Parameter auszuschließen. Die Nahrungsaufnahme wurde zum ersten Messzeitpunkt mittels Ernährungsprotokollen standardisiert, um zum zweiten Messzeitpunkt reproduziert werden zu können. Für zukünftige Untersuchungen ist zwecks Standardisierung der Nahrungsaufnahme ein festgelegtes Menü, z.B. im Trainingslager, zu verabreichen.

Einen großen Kritikpunkt der vorliegenden Untersuchung stellen die nicht kontrollierten hormonellen Reaktionen der **Kontrollgruppe** zum ersten und zweiten Messzeitpunkt dar. Aufgrund fehlender finanzieller Mittel musste auf die Bestimmung der hormonellen Reaktionen unter Kontrollbedingungen verzichtet werden. Somit ist beispielsweise auch die Frage, ob die Blutentnahme mittels Nadel bei den Probanden zu angstinduzierten hormonellen Auslenkungen geführt hat, wie sie in einigen der angeführten Studien beobachtet wurde, nicht zu klären. Für weitere Studien ist eine Erfassung der hormonellen Auslenkungen unter Kontrollbedingungen notwendig.

Unter Berücksichtigung der hier gewonnenen Ergebnisse ist im Hinblick auf die signifikant höhere Auslenkungen des hGH eine zusätzliche belastungsbegleitende Messung des **Blutlaktats** als Stimulus für eine hGH-Ausschüttung von Interesse (Godfrey et al., 2003; Goto et al., 2005). Darüber hinaus könnte die steuernde und regulierende Funktion des „Pseudo-Hormons“ Laktat („Lactormon“, Wahl, Bloch, & Mester, 2009) bei Anpassungsprozessen im Vergleich von Hypertrophie-orientierten Krafttrainingsprogrammen unter Berücksichtigung der intendiert-explosiven Bewegungsausführung vertiefend betrachtet werden (Goto et al., 2009).

Eine **dezidierte Erfassung des Trainingsvolumens, der Spannungsdauer und der maximalen Leistung** aller (!) Trainingsübungen einer Trainingseinheit böte die Möglichkeit, quantifizierte und qualifizierte mechano-biologische Determinanten der Skelettmuskeladaptation in Bezug zu den beobachteten hormonellen Auslenkungen zu setzen. Dies war in der vorliegenden Studie unter Berücksichtigung der fehlenden automatisierten Erfassung und Auswertung der genannten Variablen nicht möglich. Hieraus ergibt sich folgende Forschungsfrage:

Zukünftige Forschungsfrage K:
Welchen Einfluss haben das Trainingsvolumen, die Spannungsdauer und die maximale Leistung im Trainingsprozess auf die akuten hormonellen Auslenkungen?

Im Hinblick auf die Optimierung der hGH-Ausschüttung in einem Mehrsatz-Krafttraining konnten Goto et al. (2004) zeigen, dass die Ausführung eines zusätzlichen, geringintensiven Trainingssatzes (50% 1 RM) bis zum Punkt des momentanen Muskelversagens die hGH-Ausschüttung im Vergleich zur Kontrollbedingung signifikant anstiegen ließ. Hier ergeben sich interessante Optionen der Belastungsgestaltung des abschließenden Trainingssatzes zwecks Optimierung der akuten hormonellen Auslenkungen im Schnellkraft- und Muskelaufbautraining bei MST-Belastungsprotokollen.

Ein weiterer Punkt, der bei der Gestaltung des Untersuchungsdesigns und schlussendlich auch bei der Einordnung in die Literatur zu berücksichtigen und zu diskutieren bleibt, ist die Gestaltung der Übungsreihenfolge im Training. Einige Studien optimieren die Übungsreihenfolge bewusst im Hinblick auf die Maximierung der hormonellen Auslenkungen im Anschluss an das Training. So stellen beispielsweise Kraemer et al. (Kraemer, Fleck, Dziados, Harman, Marchitelli, Gordon et al., 1993; Kraemer et al., 1993) Übungen mit Einsatz großer Muskelgruppen (Beinpresse) an das Ende des Trainings. Die übliche und bewährte Reihenfolge in einem Krafttraining sieht die Ausführung von Übungen mit großem Muskeleinsatz zu Beginn des Trainings vor.

5.3.5 Weitere Faktoren

Einen weiteren wichtigen Faktor der Methodenkritik stellt die **Probandenauswahl** dar. Die vorliegende Studie griff auf krafttrainingserfahrene Sportstudenten als Probanden zurück. Für zukünftige Untersuchung ist einerseits die Definition des Begriffs „Krafttrainingserfahrung“ weiter zu spezifizieren. Hier ist es nicht ausreichend, lediglich die Erfahrung in Jahren zu berücksichtigen, sondern darüber hinaus zusätzliche Ansprüche an die Ausprägung der Kraftfähigkeiten, sprich Maximalkraft und muskuläre Leistung, zu stellen. Andererseits birgt die Stichprobe der Sportstudierenden ein weiteres Problem: die sportlichen Aktivitäten der Probanden im Rahmen des laufenden Semesters sind schwer zu kontrollieren und können je nach Umfang und Intensität die Untersuchungsergebnisse mehr oder minder stark beeinflussen. Diese Tatsache verdeutlicht noch einmal die Bedeutung einer Kontrollgruppe. Für zukünftige Studien mit Sportstudierenden empfiehlt es sich, auf eine Stichprobe zurückzugreifen, deren Studiengang einen geringen Anteil an sportlicher Aktivität enthält. Eine weitere Möglichkeit stellt die Rekrutierung krafttrainingserfahrener Probanden aus anderen Studienfächern dar.

Die **Stichprobengröße** erscheint unter Berücksichtigung der in Kapitel 3 angestellten Power-Berechnungen angemessen. Für zukünftige Studien erlaubt die Verwendung der Software GPower 3.0 eine weitere Spezifizierung der statistischen Verfahren und somit eine genauere Schätzung der notwendigen Stichprobengröße.

Die Dauer der Interventionsstudie ist mit einem Zeitraum von sechs Wochen bzw. 12 Trainingseinheiten ausreichend. Im Vordergrund der Untersuchung stand die Erfassung der Variablen der muskulären Leistung. Für diese werden in Anlehnung an die Literatur Deckeneffekte nach 9-12 Trainingseinheiten erwartet (Grosser et al., 2008, S. 83).

Ein **zweiter Post-Test** im Abstand von 10 Tagen nach Trainingsende, der aufgrund der zeitlich verzögerten Adaptation in einem Schnellkrafttraining von großem Interesse ist, wurde zwar durchgeführt, konnte aber aufgrund einer gravierenden Reduzierung der Stichprobengröße von über 50% nicht ausgewertet werden. Für zukünftige Studien ist ein zweiter Post-Test im zeitlichen Intervall von 7-14 Tage nach dem Trainingsende dringend angeraten. Langfristig verzögerte Adaptationen neuromuskulär wirkender Trainingsmethoden könnten somit erfasst werden (Andersen, Andersen, Magnusson, Suetta, Madsen, Christensen et al., 2005; Andersen, Andersen, Magnusson, & Aagaard, 2005; Schlumberger & Schmidtbleicher, 1998b; Schlumberger, 2000).

Zukünftige Fragestellung L:
Welche langfristig verzögerten Auswirkungen haben unterschiedliche Bewegungsausführung in einem Hypertrophie-orientierten Krafttraining auf die Maximalkraft und die Variablen der muskulären Leistung?

Die Erfassung der isometrischen und dynamischen Maximalkraft sowie der muskulären Leistung erfolgte im gleichen **Gelenkwinkel**. Somit konnten auf Basis der isometrischen Maximalkraft gute Schätzungen über die erwartete dynamische Maximalkraft abgegeben werden. Hierdurch verringerte sich die notwendige Anzahl an Testversuchen zur Bestimmung des 1 RM. Allerdings entsprach der Gelenkwinkel der isometrischen Maximalkrafttestung nicht dem Winkel, in dem die höchste Kraft für die einzelnen Testübungen aufgebracht werden konnte (Stoll, 2002). Unter dem Gesichtspunkt der Messung der isometrischen Maximalkraft hätte zusätzlich noch im stärksten Winkel und nicht nur in der Ausgangsposition der dynamischen Kraftmessung getestet werden müssen (Mester et al., 2010).

Zukünftige Forschungsfrage M:
Welchen Einfluss haben verschiedene Gelenkwinkel auf die Vorhersage des 1 RM aus der isometrischen Maximalkraft?

Darüber hinaus ergab sich bei der Bestimmung des **1 RM** das Problem, dass der Gewichtsstapel der Beinpresse nicht genügend Gewicht bereitstellte, um das 1 RM mittels eines Einer-Wiederholungsmaximums zu bestimmen. In wenigen Ausnahmefällen musste die Maximalkraft mittels eines **Wiederholungstests** approximiert werden. Die dabei auftretenden Ungenauigkeiten können die Aussagen über die Veränderung des 1 RM sowie die Bestimmung der Testlast für die muskuläre Leistung beeinflusst haben. Für zukünftige Untersuchungen ist, sofern geräteseitig möglich, über eine Aufstockung der Gewichtsbestückung der Beinpresse nachzudenken.

Ein Einfluss des **Testleiters**, wie er bei Hollmann und Strüder (2009, S. 174–175) berichtet wird, ist aufgrund der gleichbleibenden Testleiter und der Tatsache, dass sowohl Probanden als auch Testleiter männlichen Geschlechts waren, auszuschließen. Gleichwohl sind Einflüsse der **circadianen Rhythmik** innerhalb der Probanden zu vernachlässigen, da die Pre- und Post-Testung zur gleichen Tageszeit durchgeführt wurde. Zwischen den einzelnen Probanden wurden die Testungen aus organisatorischen Gründen teilweise zu unterschiedlichen Tageszeiten durchgeführt.

Die **Pausendauer** zwischen den einzelnen Testübungen hat ebenfalls einen Einfluss auf die erzielten Kraftwerte. Die festgelegte Pause zwischen den einzelnen Testübungen orientierte

sich an den Empfehlung in der Literatur (Wilson & Murphy, 1996; Schlumberger & Schmidtbleicher, 2000b; MacDougall et al., 1991). Die Erfassung der muskulären Leistung stellt hierbei ein neueres Testverfahren dar, zu dem in der Literatur keine Studien zur Auswirkung einer unterschiedlichen Pausendauer auf die Variablen der muskulären Leistung gefunden werden konnten. Somit leitete sich die verwendete Pausendauer aus sportmotorischen Schnellkrafttests ab und es ergibt sich folgende Forschungsfrage:

Zukünftige Forschungsfrage N:
Welche Auswirkungen haben unterschiedlichen Pausenlängen auf ausgewählte Variablen in der Diagnostik der muskulären Leistung?

Die **Reihenfolge der Testübungen** (1. isometrische Maximalkraft, 2. 1 RM, 3. muskuläre Leistung bei a. 80% und b. 50% 1 RM) könnte ebenfalls einen Einfluss auf die Variablen der muskuläre Leistung haben. Der Diagnostik der muskulären Leistung ging einerseits die Bestimmung der isometrischen und dynamischen Maximalkraft voraus, deren muskuläre Beanspruchung die Variablen der muskulären Leistung beeinflusst haben könnten. Für zukünftige Untersuchungen kann eine Trennung der Maximal- und Schnellkraftdiagnostik diesen möglichen Einfluss ausschließen. Des Weiteren würde hiermit der mögliche Einfluss einer „post activation potentiation“ (PAP) nach maximalen Kraftanstrengungen und die möglicherweise leistungssteigernde Auswirkung auf die Diagnostik der muskulären Leistung vermieden werden (Hodgson, Docherty, & Robbins, 2005). Aufgrund der unklaren zeitlichen Struktur und den individuellen Differenzen dieses Phänomens sind die Einflüsse auf die Diagnostik der muskulären Leistung in der vorliegenden Studie nicht einzuschätzen. Andererseits könnte die Reihenfolge der Testlasten (80% vor 50% 1 RM) die Variablen der muskulären Leistung bei 50% 1 RM beeinflusst haben. Hieraus ergibt sich eine weitere Forschungsfrage:

Zukünftige Forschungsfrage O:
Welche Auswirkungen hat die Testreihenfolge bei unterschiedlichen Lasten auf die Variablen der muskulären Leistung?

5.3.6 Zukünftiges Forschungskonzept

Für die zukünftige Forschung gilt es, die kinematischen und kinetischen Belastungskonfigurationen (Kraft, Leistung, Geschwindigkeit) der verschiedenen, in der Praxis durchgeführten Krafttrainingsmethoden mit ihren unterschiedlichen Belastungsparametern zu kontrollieren:

> Examination of different weight-training techniques, as performed in practice, would also provide greater understanding in this area (Crewther et al., 2005, p. 984).

Hierzu bieten die mechano-biologischen Determinanten der Skelettmuskeladaptation einen erfolgsversprechenden Ausgangspunkt.

Das zukünftige Forschungskonzept setzt eine umfangreiche Aufzeichnung von kinematischen und kinetischen Test- und vor allem Trainingsdaten voraus, die im Zusammenhang mit zentralen (z.B. fMRT), neuronalen (EMG), strukturellen (Muskelbiopsie, bildgebende Verfahren) und biochemischen Prozessen betrachtet werden müssen. Es werden neben hohen Anforderungen an die biologische und medizinische Diagnostik umfangreiche Ansprüche an die Datenerfassung sowie -verarbeitung der kinematischen und kinetischen Daten gestellt werden.

Die Aufgabe der Trainingswissenschaft ist es, konkurrierende Trainingsmethoden zur Verbesserung der muskulären Leistung im sportartbegleitenden Krafttraining zu identifizieren und eine zuverlässige und aussagekräftige Operationalisierung zur Erfassung der kinematischen und kinetischen Daten in Trainings- und Testsituationen sowie der mechano-biologischen Determinanten der Skelettmuskeladaptation zu gewährleisten. Dabei sind mittels statistischer Verfahren (Korrelations- und Regressionsanalysen sowie Cluster-, Faktoren- bzw. Diskriminanzanalyse) aus der Vielzahl der vorhandenen Variablen der muskulären Leistung diejenigen zu isolieren, anhand derer Schnellkraftleistungen zuverlässig verglichen und vorhergesagt werden können – sowohl disziplinspezifisch als auch phänomenologisch. Die Entwicklung datengeleiteter Modelle und deren hypothesengeleitete Prüfung erlaubt es, durch eine Komplexitätsreduktion zielorientierte trainingsmethodische Hinweise zu geben.

Wie Kapitel 2.1 zeigen konnte, existieren keine eindeutigen Trainingsempfehlungen für die Optimierung der maximalen muskulären Leistung. Mögliche Trainingsempfehlungen scheinen maximalkraft- und übungsabhängig zu sein sowie geschlechtsspezifische Unterschiede aufzuweisen. Weiterhin gilt es zu bedenken, dass die Integration der Zielbewegung in das Krafttraining für einen koordinativen Übertrag der Kraftgewinne vorteilhaft ist (Baker, 1996; Fatouros, Jamurtas, & Leontsini, 2000). Es gilt folglich, zwischen fertigkeitsspezifischen und fertigkeitsunspezifischen Trainingsinhalten zu differenzieren (Mechling, 1999; Rostock & Zimmermann, 1997).

Die positiven Auswirkungen der intendiert-explosiven Kontraktionen gegen hohe Lasten auf die Variablen der muskulären Leistung offenbaren neben den aufgezeigten Forschungsfragen Potenzial für eine weitergehende Betrachtung im Vergleich zu herkömmlichen Schnellkrafttrainingsmethoden. Das Forschungsprojekt von Wirth, Bob, Müller und Schmidtbleicher (2008) bietet unter Berücksichtigung eines eigenen beantragten Forschungsprojektes beim Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Felder & Mechling, 2008) sowie den hier eröffneten Forschungsfragen potenzielle Ansatzpunkte. Folgende Trainingsgruppen sind denkbar:

- Gruppen 1 bis 4: intendiert-explosive Bewegungsausführung mit
    1. 30-40% 1 RM
    2. 50-60% 1 RM
    3. 70-80% 1 RM
    4. 90-100% 1 RM
- Gruppen 5 und 6: klassisches Hypertrophietraining mit
    5. kontrolliert-zügiger Bewegungsausführung bei 70-80% 1 RM
    6. langsamer Bewegungsausführung bei 50-60% 1 RM
- Gruppe 7: Kontrollgruppe ohne Training

Das 6-wöchige Trainingsprogramm fokussiert dabei zwei ausgewählte Übungen, die auch als Testübungen die spezifischen sportmotorischen Anforderungen im Hinblick auf die Kraft-, Leistungs-, Geschwindigkeits- und Zeitverläufe adäquat abbilden, wie z.B. die Bein- und Brustpresse. Ergänzend werden auf die sportartspezifischen Anforderungen abgestimmte Übungen, wie z.B. der Counter movement jump und der plyometrische Liegestütz, im Training und als sportmotorische Tests durchgeführt. Zusätzlich werden zur Verbesserung der Trainingscompliance ergänzende Übungen absolviert, wobei alle Trainingsgruppen ein Hypertrophie-orientiertes Krafttraining mit 3 Sätzen à 8-10 Wiederholungen durchführen.

Hierbei sind die Belastungskonfigurationen hinsichtlich der übergeordneten Steuerungsparameter Trainingsvolumen, Spannungsdauer und $Arbeit_{Spannungsdauer}$ im Rahmen der sinnvollen Möglichkeiten zu parallelisieren. Die Diagnostik beinhaltet neben der Veränderung der isometrischen und dynamischen Maximalkraft eine Betrachtung auszuwählender Variablen der muskulären Leistung bei 30%, 50%, 70% und 90% 1 RM, sportmotorische Tests, sowie akute hormonelle Auslenkungen unter Berücksichtigung des Laktats. Darüber hinaus werden neuronale und morphologische Anpassungen erfasst.

Für die Umsetzung einer maximal schnellkräftigen, explosiven oder intendiert-explosiven Bewegungsausführung im Krafttraining sei an dieser Stelle nochmals auf die Entwicklung von Bremssystemen für die verwendeten Trainings- und Testgeräte hingewiesen. Hierdurch kann die Verletzungsgefahr der Probanden durch das Abfangen der beschleunigten Lasten minimiert werden und darüber hinaus ein Anschlagen der beschleunigten Lasten an geräteseitig begrenzende Strukturen mit möglicher Beschädigung der Messelektronik verhindert werden.

Abbildung 5-1 skizziert ein zukünftiges Forschungskonzept für das Schnellkrafttraining. Neben der Untersuchungsart und den zu erfassenden Untersuchungsvariablen mit ihren technologischen Anforderungen werden die beteiligten Wissenschaftsdisziplinen und die Transferebene fokussiert.

Abbildung 5-2 löst sich von der abstrakten Ebene und verbindet die oben aufgeworfenen Forschungsfragen in einem ausdifferenzierten Forschungskonzept. Querschnittsstudien liefern hierbei grundlegende und vertiefende Erkenntnisse und Einblicke in identifizierte Problemfelder, auf deren Basis Längsschnittuntersuchungen geplant und durchgeführt werden. Das Forschungskonzept integriert nationale und internationale Forschungsergebnisse und Klassifizierungsansätze zu einem erfolgsversprechenden Gesamtkonzept. Die Basis stellen kinematische und kinetische Parameter (Sportwissenschaft), physiologisch messbarerer Adaptationen (Biologie/Medizin) und Grundlagen der Bewegungsorganisation (Psychologie) unter Berücksichtigung der mechano-biologischen Determinanten der Skelettmuskeladaptation dar.

Abbildung 5-1: Zukünftiges Forschungskonzept Schnellkrafttraining.

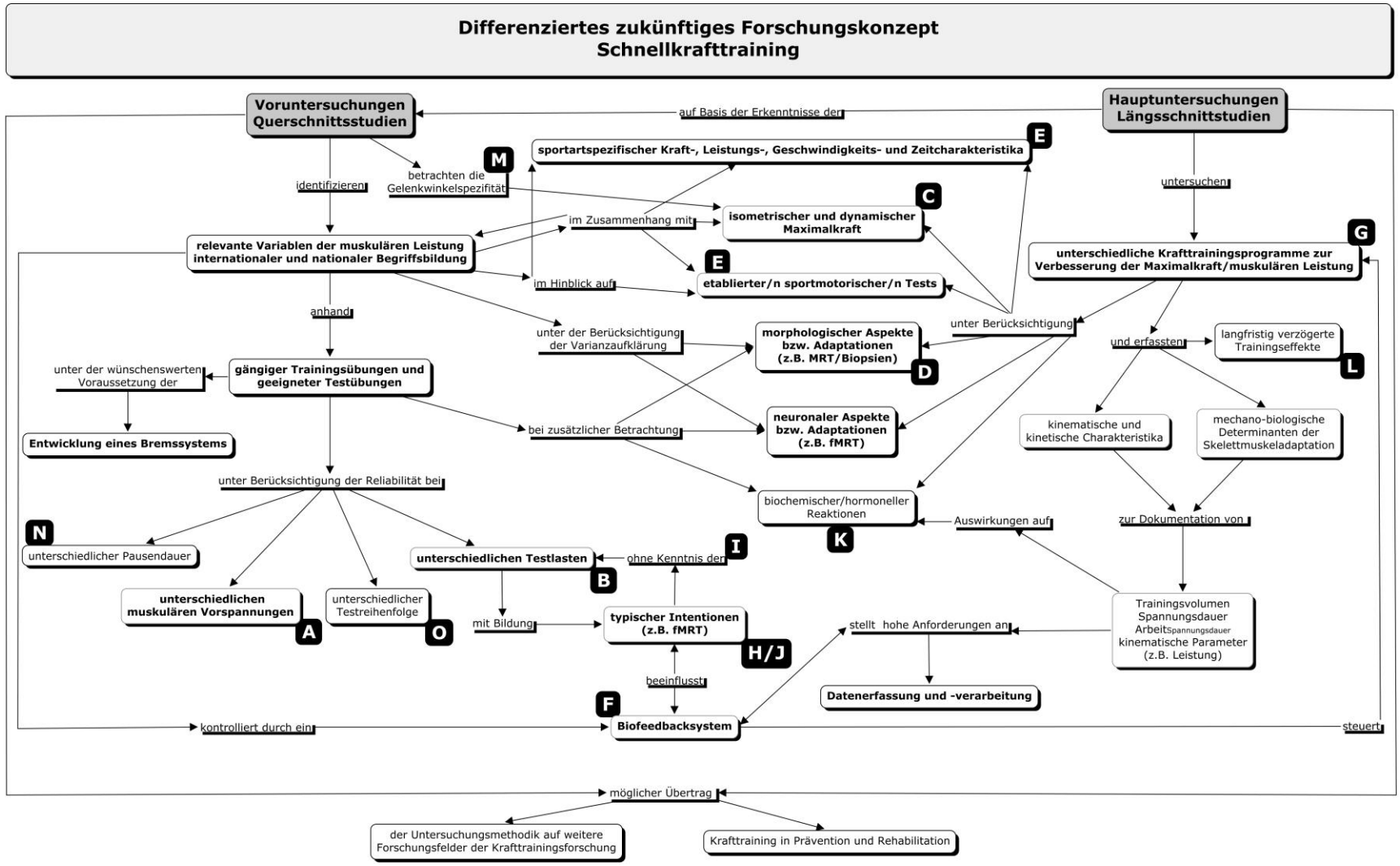

Abbildung 5-2: Differenziertes zukünftiges Forschungskonzept Schnellkrafttraining (die Buchstaben A bis O markieren die aufgezeigten konkreten Fragestellungen).

6 Literatur

A

Aagaard, P. (2003). Training-induced changes in neural function. *Exercise and sport sciences reviews, 31*(2), 61–67.

Aagaard, P., & Bangsbo, J. (2006). The muscular system: design, function, and performance relationships. In C. M. Tipton, M. N. Sawka, C. A. Tate, & R. L. Terjung (Eds.), *ACSM´s advanced exercise physiology.* Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.

Aagaard, P., Magnusson, P. S., Larsson, B., Kjaer, M., & Krustrup, P. (2007). Mechanical Muscle Function, Morphology, and Fiber Type in Lifelong Trained Elderly. *Medicine and science in sports and exercise, 39*(11), 1989–1996.

Aagaard, P., & Mayer, F. (2007). Neuronal adaptations to strength training: Neuronale Adaptationen durch Krafttraining. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 58*(2), 50–53.

Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 93*(4), 1318–1326.

Abernethy, P., Wilson, G., & Logan, P. (1995). Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 19*(6), 401–417.

Adam, A., & Luca, C. J. de (2003). Recruitment order of motor units in human vastus lateralis muscle is maintained during fatiguing contractions. *Journal of neurophysiology, 90*(5), 2919–2927, from doi:10.1152/jn.00179.2003.

Adhihetty, P. J., Irrcher, I., Joseph, A.-M., Ljubicic, V., & Hood, D. A. (2003). Plasticity of skeletal muscle mitochondria in response to contractile activity. *Experimental physiology, 88*(1), 99–107.

Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2003). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European journal of applied physiology, 89*(6), 555–563.

Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2003). Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs maximum repetitions multiple resistance exercises. *International journal of sports medicine, 24*(6), 410–418.

Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (2005). Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: influence on muscle strength, size, and hormonal adaptations in trained men. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 19*(3), 572–582, from doi:10.1519/15604.1.

Almasbakk, B., & Hoff, J. (1996). Coordination, the determinant of velocity specificity? *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 81*(5), 2046–2052.

American Psychological Association (2010). *Publication manual of the American Psychological Association* (6th ed.). Washington, DC: American Psychological Assoc.

Andersen, J. L., & Aagaard, P. (2000). Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle & nerve, 23*(7), 1095–1104.

Andersen, J. L., Klitgaard, H., & Saltin, B. (1994). Myosin heavy chain isoforms in single fibres from m. vastus lateralis of sprinters: influence of training. *Acta physiologica Scandinavica, 151*(2), 135–142.

Andersen, L. L., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., & Aagaard, P. (2005). Neuromuscular adaptations to detraining following resistance training in previously untrained subjects. *European journal of applied physiology, 93*(5-6), 511–518.

Andersen, L. L., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., Suetta, C., Madsen, J. L., Christensen, L. R., et al. (2005). Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 99*(1), 87–94, from doi:10.1152/japplphysiol.00091.2005.

Arteaga, R., Dorado, C., Chavarren, J., & Calbet, J. A. (2000). Reliability of jumping performance in active men and women under different stretch loading conditions. *The Journal of sports medicine and physical fitness, 40*(1), 26–34.

Atherton, P. J., Babraj, J., Smith, K., Singh, J., Rennie, M. J., & Wackerhage, H. (2005). Selective activation of AMPK-PGC-1alpha or PKB-TSC2-mTOR signaling can explain specific adaptive responses to endurance or resistance training-like electrical muscle stimulation. *The FASEB journal : official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology, 19*(7), 786–788, from doi:10.1096/fj.04-2179fje.

Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 26*(4), 217–238.

Augustsson, J., Thomee, R., Hornstedt, P., Lindblom, J., Karlsson, J., & Grimby, G. (2003). Effect of pre-exhaustion exercise on lower-extremity muscle activation during a leg press exercise. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 17*(2), 411–416.

B

Baechle, T. R., & Earle, R. (Eds.) (2000). *Essentials of strength and conditioning* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Baechle, T. R., Earle, R., & Wathen, D. (2000). Resistance training. In T. R. Baechle, & R. Earle (Eds.), *Essentials of strength training and conditioning* (2nd ed., pp. 395–425). Champaign, IL: Human Kinetics.

Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2008). *Essentials of strength training and conditioning* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Baker, D. (1996). Improving vertical jump performance through general, special, and specific strength training: A brief review. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 10*(2), 131–136.

Baker, D., Nance, S., & Moore, M. (2001). The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 15*(1), 20–24.

Baltzopoulos, V., & Brodie, D. A. (1989). Isokinetic dynamometry. Applications and limitations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 8*(2), 101–116.

Behm, D. G., & Sale, D. G. (1993a). Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 74*(1), 359–368.

Behm, D. G., & Sale, D. G. (1993b). Velocity specificity of resistance training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 15*(6), 374–388.

Bell, G. J., & Wenger, H. A. (1992). Physiological adaptations to velocity-controlled resistance training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 13*(4), 234–244.

Bemben, M. G., Massey, B. H., Bemben, D. A., Misner, J. E., & Boileau, R. A. (1991). Isometric muscle force production as a function of age in healthy 20- to 74-yr-old men. *Medicine and science in sports and exercise, 23*(11), 1302–1310.

Berger, R. A., & Hardage, B. (1967). Effect of maximum loads for each of ten repetitions on strength improvement. *Research quarterly, 38*(4), 715–718.

Billeter, R., & Hoppeler, H. (2003). Muscular Basis of Strength. In P. V. Komi (Ed.), *The Encyclopaedia of sports medicine: Vol. 3. Strength and power in sport* (2nd ed., pp. 50–72). Oxford: Blackwell Science.

Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (2006). *Biologische Psychologie: Mit 41 Tabellen ; [Bonusmaterial im Web]* (6., vollst. überarb. und erg. Aufl.). *Springer-Lehrbuch.* Heidelberg: Springer Medizin.

Bishop, D., & Kaminski, T. W. (2005). A comparison of enhanced-eccentric resistance training and traditional training for increasing strength. In J. Gießing, M. Fröhlich, & P. Preuss (Eds.), *Current results of strength training research: Vol. 1. An empirical and theoretical approach* (1st ed., pp. 134–150). Göttingen: Cuvillier.

Bobbert, M. F., & Harlaar, J. (1993). Evaluation of moment-angle curves in isokinetic knee extension. *Medicine and science in sports and exercise, 25*(2), 251–259.

Bobbert, M. F., & van Zandwijk, J. P. (1999). Dynamics of force and muscle stimulation in human vertical jumping. *Medicine and science in sports and exercise, 31*(2), 303–310.

Borst, S. E., Hoyos, D. V. de, Garzarella, L., Vincent, K., Pollock, B. H., Lowenthal, D. T., et al. (2001). Effects of resistance training on insulin-like growth factor-1 and IGF binding proteins. *Medicine and science in sports and exercise, 33*(4), 648–653.

Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (6., vollständig überarbeitete und aktualisierte Aufl.). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.

Bös, K. (2001). *Handbuch motorische Tests: Sportmotorische Tests, motorische Funktionstests, Fragebogen zur körperlich-sportlichen Aktivität und sportpsychologische Diagnoseverfahren* (2., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Göttingen: Hogrefe Verl. für Psychologie.

Bosco, C., Belli, A., Astrua, M., Tihanyi, J., Pozzo, R., Kellis, S., et al. (1995). A dynamometer for evaluation of dynamic muscle work. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 70*(5), 379–386.

Bottaro, M., Machado, S. N., Nogueira, W., Scales, R., & Veloso, J. (2007). Effect of high versus low-velocity resistance training on muscular fitness and functional performance in older men. *European journal of applied physiology, 99*(3), 257–264.

Bottinelli, R., Pellegrino, M. A., Canepari, M., Rossi, R., & Reggiani, C. (1999). Specific contributions of various muscle fibre types to human muscle performance: an in vitro study. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology, 9*(2), 87–95.

Bottinelli, R., & Reggiani, C. (2000). Human skeletal muscle fibres: molecular and functional diversity. *Progress in biophysics and molecular biology, 73*(2-4), 195–262.

Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M. A., & Reggiani, C. (1996). Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *The Journal of physiology, 495*(2), 573–586.

Bottinelli, R., & Reggiani, C. (Eds.) (2006). *Advances in Muscle Research: Skeletal muscle plasticity in health and disease: From genes to whole muscle.* Dordrecht: Springer.

Bowtell, J. L., Park, D. M., Smith, K., Cuthbertson, D., Waddell, T., & Rennie, M. J. (2003). Stimulation of human quadriceps protein synthesis after strenuous exercise: no effects of varying intensity between 60 and 90 % of one repetition maximum (1RM). *The Journal of physiology, 547*, P16.

Brack, R., Hohmann, A., & Wieland, H. (Hrsg.) (1994). *Symposium der DVS-Sektion Trainingswissenschaft: Band 2. Trainingssteuerung: Konzeptionelle und trainingsmethodische Aspekte.* Stuttgart: Naglschmid.

Brown, L. E., & Brown, L. E. (Eds.) (2000). *Isokinetics in human performance.* Champaign, Ill.: Human Kinetics Publ.

Brzycki, M. (Ed.) (2000). *Maximize your training: insights from leading strength and fitness professionals.* Lincolnwood, IL: Masters Press.

Buchanan, T. S., Lloyd, D. G., Manal, K., & Besier, T. F. (2005). Estimation of muscle forces and joint moments using a forward-inverse dynamics model. *Medicine and science in sports and exercise, 37*(11), 1911–1916.

Bührle, M. (1983). Die spezielle Diagnose der einzelnen Kraftkomponenten im Hochleistungssport. *Leistungssport, 13*(3), 11–16.

Bührle, M. (1985a). Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In M. Bührle (Hrsg.), *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 82-111). Schorndorf: Verlag Karl Hofmann.

Bührle, M. (Hrsg.) (1985b). *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings.* Schorndorf: Verlag Karl Hofmann.

Bührle, M. (1992). Schnellkraft und die unterschiedlichen Ansätze ihrer Erfassung. In Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft (Reihen-Hrsg.) & D. Martin & S. Weigelt (Vol. Hrsg.), *Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft: Vol. 53. Trainingswissenschaft. Selbstverständnis und Forschungsansätze* (S. 121–129). Sankt Augustin: Academia-Verl.

Bührle, M., & Schmidtbleicher, D. (1977). Der Einfluß von Maximalkrafttraining auf die Bewegungsgeschwindigkeit. *Leistungssport, 7*(1), 3–10.

Bührle, M., & Werner, E. (1984). Das Muskelquerschnittstraining der Bodybuilder. *Leistungssport, 14*(3), 5–9.

Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.) (2008). *BISp-Jahrbuch – Forschungsförderung 2006/07.* Bonn: Bundesinstitut für Sportwissenschaft.

Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.) (2010). *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2008/2009.* Bonn: Bundesinstitut für Sportwissenschaft.

Burger, R., Augustin, D., Müller, N., Steinmann, W., & Letzelter, M. (Hrsg.) (2005). *Mainzer Studien zur Sportwissenschaft 23. Trainingswissenschaft - Facetten in Lehre und Forschung: Festschrift zur Verabschiedung von Prof. Dr. Manfred Letzelter.* Niedernhausen/Ts.: Schors-Verl.

Buskies, W., & Boeckh-Behrens, W. U. (1999). Probleme bei der Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining auf der Basis von Maximalkrafttests. *Leistungssport, 29*(3), 4–8.

C

Caiozzo, V. J., Perrine, J. J., & Edgerton, V. R. (1981). Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology, 51*(3), 750–754.

Caiozzo, V. J., & Rourke, B. (2006). The Muscular System: Structural and Functional Plasticity. In C. M. Tipton, M. N. Sawka, C. A. Tate, & R. L. Terjung (Eds.), *ACSM´s advanced exercise physiology* (pp. 112–143). Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.

Campos, G. E. R., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., et al. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European journal of applied physiology, 88*(1-2), 50–60, from doi:10.1007/s00421-002-0681-6.

Carroll, T. J., Abernethy, P. J., Logan, P. A., Barber, M., & McEniery, M. T. (1998). Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 78*(3), 270–275.

Carroll, T. J., Riek, S., & Carson, R. G. (2001). Corticospinal responses to motor training revealed by transcranial magnetic stimulation. *Exercise and sport sciences reviews, 29*(2), 54–59.

Chapman, D., Newton, M., Sacco, P., & Nosaka, K. (2006). Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *International journal of sports medicine, 27*(8), 591–598.

Chin, E. R. (2005). Role of Ca2+/calmodulin-dependent kinases in skeletal muscle plasticity. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 99*(2), 414–423, from doi:10.1152/japplphysiol.00015.2005.

Christie, A., & Kamen, G. (2006). Doublet discharges in motoneurons of young and older adults. *Journal of neurophysiology, 95*(5), 2787–2795, from doi: 10.1152/jn.00685.2005.

Churchley, E. G., Coffey, V. G., Pedersen, D. J., Shield, A., Carey, K. A., Cameron-Smith, D., et al. (2007). Influence of preexercise muscle glycogen content on transcriptional activity of metabolic and myogenic genes in well-trained humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 102*(4), 1604–1611, from doi:10.1152/japplphysiol. 01260.2006.

Clark, R. A., Bryant, A. L., & Humphries, B. (2008). An examination of strength and concentric work ratios during variable range of motion training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 22*(5), 1716–1719, from doi:10.1519/JSC.0b013e318173c529.

Coffey, V. G., & Hawley, J. A. (2006). Training for performance: insights from molecular biology. *International journal of sports physiology and performance, 1*(3), 284–292.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2007a). Validation of power measurement techniques in dynamic lower body resistance exercises. *Journal of applied biomechanics, 23*(2), 103–118.

Cormie, P., McCaulley, G. O., & McBride, J. M. (2007). Power versus strength-power jump squat training: influence on the load-power relationship. *Medicine and science in sports and exercise, 39*(6), 996–1003.

Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2008). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis during the jump squat: impact of load. *Journal of applied biomechanics, 24*(2), 112–120.

Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2007b). The influence of body mass on calculation of power during lower-body resistance exercises. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 21*(4), 1042–1049, from doi:10.1519/R-21636.1.

Cormie, P., McCaulley, G. O., Triplett, N. T., & McBride, J. M. (2007). Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Medicine and science in sports and exercise, 39*(2), 340–349, from doi:10.1249/01.mss.0000246993.71599.bf.

Coyle, E. F., Feiring, D. C., Rotkis, T. C., Cote, R. W., 3rd, Roby, F. B., Lee, W., et al. (1981). Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology, 51*(6), 1437–1442.

Craig, B. W., Brown, R., & Everhart, J. (1989). Effects of progressive resistance training on growth hormone and testosterone levels in young and elderly subjects. *Mechanisms of ageing and development, 49*(2), 159–169.

Creer, A., Gallagher, P., Slivka, D., Jemiolo, B., Fink, W., & Trappe, S. (2005). Influence of muscle glycogen availability on ERK1/2 and Akt signaling after resistance exercise in human skeletal muscle. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 99*(3), 950–956, from doi:10.1152/japplphysiol.00110.2005.

Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2005). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute mechanical responses. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 35*(11), 967–989.

Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute metabolic responses. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 36*(1), 65–78.

Crewther, B., Cronin, J., Keogh, J., & Cook, C. (2008). The salivary testosterone and cortisol response to three loading schemes. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 22*(1), 250–255, from doi:10.1519/JSC.0b013e31815f5f91.

Crewther, B., Keogh, J., Cronin, J., & Cook, C. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute hormonal responses. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 36*(3), 215–238.

Cronin, J., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2001a). Velocity specificity, combination training and sport specific tasks. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia, 4*(2), 168–178.

Cronin, J. B., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2001b). Developing explosive power: a comparison of technique and training. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia, 4*(1), 59–70.

Cronin, J. B., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2003a). Lunge performance and its determinants. *Journal of sports sciences, 21*(1), 49–57.

Cronin, J. B., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2003b). Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 17*(1), 148–155.

Cronin, J. B., & Sleivert, G. (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 35*(3), 213–234.

D

Desmedt, J. E., & Godaux, E. (1977a). Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *The Journal of physiology, 264*(3), 673–693.

Desmedt, J. E., & Godaux, E. (1977b). Fast motor units are not preferentially activated in rapid voluntary contractions in man. *Nature, 267*(5613), 717–719.

Desmedt, J. E., & Godaux, E. (1978). Ballistic contractions in fast or slow human muscles: discharge patterns of single motor units. *The Journal of physiology, 285*(1), 185–196.

Desmedt, J. E., & Godaux, E. (1979). Voluntary motor commands in human ballistic movements. *Annals of neurology, 5*(5), 415–421, from doi:10.1002/ana.410050503.

Dormann, C. F. & Kühn, I. (2009). *Angewandte Statistik für die biologischen Wissenschaften.* Zugriff am 11. April 2010, unter https://ufz.helmholtz.de/data/deutschstatswork7649.pdf.

Dreyer, H. C., Fujita, S., Cadenas, J. G., Chinkes, D. L., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2006). Resistance exercise increases AMPK activity and reduces 4E-BP1 phosphorylation and protein synthesis in human skeletal muscle. *The Journal of physiology, 576*(Pt 2), 613–624, from doi:10.1113/jphysiol.2006.113175.

Duchateau, J., & Hainaut, K. (1984). Isometric or dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology, 56*(2), 296–301.

Duchateau, J., & Hainaut, K. (2003). Mechanisms of muscle and motor unit adaptation to explosive power training. In P. V. Komi (Ed.), *The Encyclopaedia of sports medicine: Vol. 3. Strength and power in sport* (2nd ed., pp. 315–330). Oxford: Blackwell Science.

Duchateau, J., Semmler, J. G., & Enoka, R. M. (2006). Training adaptations in the behavior of human motor units. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 101*(6), 1766–1775, from doi:10.1152/japplphysiol.00543.2006.

Dudley, G. A., Tesch, P. A., Harris, R. T., Golden, C. L., & Buchanan, P. (1991). Influence of eccentric actions on the metabolic cost of resistance exercise. *Aviation, space, and environmental medicine, 62*(7), 678–682.

Dugan, E. L., Doyle, T. L., Humphries, B., Hasson, C. J., & Newton, R. U. (2004). Determining the optimal load for jump squats: a review of methods and calculations. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 18*(3), 668–674.

Dvir, Z. (2004). *Isokinetics: Muscle testing, interpretation, and clinical applications* (2nd ed.). Edinburgh: Churchill Livingstone.

E

Earle, R. W., & Baechle, T. R. (2000). Resistance Training and Spotting Techniques. In T. R. Baechle & R. Earle (Eds.), *Essentials of strength and conditioning* (2nd ed., pp. 343–389). Champaign, IL: Human Kinetics.

Edgerton, V. R., & Roy, R. R. (2006). The Nervous System and Movement. In C. M. Tipton, M. N. Sawka, C. A. Tate, & R. L. Terjung (Eds.), *ACSM´s advanced exercise physiology* (pp. 41–94). Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.

Ehlenz, H., Grosser, M., & Zimmermann, E. (2003). *Krafttraining: Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme* (7., überarb. Aufl. (Neuausg.)). *BLV Sportwissen.* München: BLV Verl.- Ges.

Eliasson, J., Elfegoun, T., Nilsson, J., Köhnke, R., Ekblom, B., & Blomstrand, E. (2006). Maximal lengthening contractions increase p70 S6 kinase phosphorylation in human skeletal muscle in the absence of nutritional supply. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism, 291*(6), E1197-205, from doi:10.1152/ajpendo.00141.2006.

Enoka, R. M. (1996). Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 81*(6), 2339–2346.

Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanics of human movement* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Enoka, R. M., & Fuglevand, A. J. (2001). Motor unit physiology: some unresolved issues. *Muscle & nerve, 24*(1), 4–17.

Enoka, R. M. (2008). *Neuromechanics of human movement* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Epley, B. (1985). *Poundage chart. Boyd Epley workout.* Lincoln, Nebrasca.

Erdfelder, E., Faul, F., & Buchner, A. (1996). GPower: A general power analysis program. *Behavior research methods, instruments, & computers, 28*, 1–11.

Ewing, J. L., Jr, Wolfe, D. R., Rogers, M. A., Amundson, M. L., & Stull, G. A. (1990). Effects of velocity of isokinetic training on strength, power, and quadriceps muscle fibre characteristics. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 61*(1-2), 159–162.

F

Farthing, J. P., & Chilibeck, P. D. (2003). The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *European journal of applied physiology, 89*(6), 578–586, from doi:10.1007/s00421-003-0842-2.

Fatouros, I., Jamurtas, A., & Leontsini, D. (2000). Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 14*(4), 470–476.

Felder, J., & Mechling, H. (2008). *Zum Einfluss unterschiedlicher Intensitäten im Schnellkrafttraining auf verschiedene Parameter der muskulären Leistung: Entwicklung eines Testverfahrens zur objektiven Beurteilung der optimalen Intensität im Schnellkrafttraining*. Antrag an das Bundesinstitut für Sportwissenschaft. Bonn.

Felici, F., Rosponi, A., Sbriccoli, P., Filligoi, G. C., Fattorini, L., & Marchetti, M. (2001). Linear and non-linear analysis of surface electromyograms in weightlifters. *European journal of applied physiology, 84*(4), 337–342.

Fielding, R. A., LeBrasseur, N. K., Cuoco, A., Bean, J., Mizer, K., & Fiatarone Singh, M. A. (2002). High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *Journal of the American Geriatrics Society, 50*(4), 655–662.

Fitts, R. H. (2006). The Muscular System: Fatigue Processes. In C. M. Tipton, M. N. Sawka, C. A. Tate, & R. L. Terjung (Eds.), *ACSM´s advanced exercise physiology* (pp. 178–196). Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.

Fitts, R. H., McDonald, K. S., & Schluter, J. M. (1991). The determinants of skeletal muscle force and power: their adaptability with changes in activity pattern. *Journal of biomechanics, 24*(Suppl 1), 111–122.

Fitts, R. H. (2008). The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 104*(2), 551–558, from doi:10.1152/japplphysiol.01200.2007.

Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (1988). Resistance Training: Exercise Prescription (Part 4 of 4). *The Physician and Sportsmedicine, 16*(6), 69–81.

Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2004). *Designing resistance training programs* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Folland, J. P., Irish, C. S., Roberts, J. C., Tarr, J. E., & Jones, D. A. (2002). Fatigue is not a necessary stimulus for strength gains during resistance training. *British Journal of Sports Medicine, 36*(5), 370-3; discussion 374.

Folland, J., & Morris, B. (2008). Variable-cam resistance training machines: do they match the angle - torque relationship in humans? *Journal of sports sciences, 26*(2), 163–169, from doi:10.1080/02640410701370663.

Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 37*(2), 145–168.

Foxes Team. XNumbers (Version 5.6). Zugriff am 21. April 2008, unter http://digilander.libero.it/foxes/.

Fritsch, W. (Hrsg.) (2003). *Rudern – erfahren, erkunden, erforschen.* Gießen: Wirth-Verlag (Sport Media).

Fröhlich, M. (2006). Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. *Sportwissenschaft, 36*(3), 269–291.

Fröhlich, M., Emrich, E., Büch, M. P., & Gießing, J. (2008). Marginal return in sports - Initial thoughts on economic considerations in training science. In J. Gießing & M. Fröhlich (Eds.), *Current results of strength training research: Vol. 2. A multi-perspective approach* (1st ed., pp. 167–186). Göttingen: Cuvillier.

Fröhlich, M., & Pieter, A. (2009). Cohen's Effektstärken als Mass der Bewertung von praktischer Relevanz – Implikationen für die Praxis. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie, 54*(4), 139–142.

Fröhlich, M., & Schmidtbleicher, D. (2008). Trainingshäufigkeit im Krafttraining - ein metaanalytischer Zugang. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 59*(2), 4–12.

Fujita, S., Mikesky, A. E., Sato, Y., & Abe, T. (2007). Fatigue Characteristics during Maximal Concentric Leg Extension Exercise with Blood Flow Restriction. *International Journal of KAATSU Training Research, 3*(2), 27–31.

G

Gabriel, D. A., Kamen, G., & Frost, G. (2006). Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 36*(2), 133–149.

Gamble, P. (2006). Implications and applications of training specificity for coaches and athletes. *Strength & Conditioning Journal / National Strength & Conditioning Association, 28*(3), 54–58.

Gans, C. (1982). Fiber architecture and muscle function. *Exercise and sport sciences reviews, 10*, 160–207.

Garland, S. J., & Griffin, L. (1999). Motor unit double discharges: statistical anomaly or functional entity? *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquée, 24*(2), 113–130.

Ghez, C., & Krakauer, J. (2000). The Organization of Movement. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz, & T. M. Jessell (Eds.), *Principles of neural science* (4th ed., pp. 653–673). New York: McGraw-Hill Health Professions Division.

Gießing, J., & Fröhlich, M. (Eds.) (2008). *Current results of strength training research / Jürgen Gießing … (eds.): Vol. 2. A multi-perspective approach* (1. Aufl.). Göttingen: Cuvillier.

Gießing, J., Fröhlich, M., & Preuss, P. (Eds.) (2005). *Current results of strength training research / Jürgen Gießing, Michael Fröhlich & Peter Preuss (ed.): Vol. 1. An empirical and theoretical approach* (1st ed.). Göttingen: Cuvillier.

Gillies, E. M., & Docherty, D. (1999). Effects of different times of concentric muscle actions on strength, hypertrophy, specific tension, and training volume in resistance-trained women. *Medicine and science in sports and exercise, 31*(5), S114.

Gillies, E. M., Putman, C. T., & Bell, G. J. (2006). The effect of varying the time of concentric and eccentric muscle actions during resistance training on skeletal muscle adaptations in women. *European journal of applied physiology, 97*(4), 443–453.

Godfrey, R. J., Madgwick, Z., & Whyte, G. P. (2003). The exercise-induced growth hormone response in athletes. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 33*(8), 599–613.

Goebel, S. (2002). *Entwicklung, Überprüfung und Normierung eines Kraftmessverfahrens – Ein Beitrag zur Diagnose des Status und der Entwicklung der isometrischen Maximalkraft bei 50- bis 75- jährigen Frauen und Männern.* Dissertation, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn.

Goffart, S., & Wiesner, R. J. (2003). Regulation and co-ordination of nuclear gene expression during mitochondrial biogenesis. *Experimental physiology, 88*(1), 33–40.

Goldspink, G., & Harridge, S. D. (2003). Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. In P. V. Komi (Ed.), *The Encyclopaedia of sports medicine: Vol. 3. Strength and power in sport* (2nd ed., pp. 231–251). Oxford: Blackwell Science.

Goldspink, G., Scutt, A., Loughna, P. T., Wells, D. J., Jaenicke, T., & Gerlach, G. F. (1992). Gene expression in skeletal muscle in response to stretch and force generation. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology, 262*(3), R356-63.

Goldspink, G. (2005). Mechanical signals, IGF-I gene splicing, and muscle adaptation. *Physiology (Bethesda, Md.), 20*, 232–238, from doi:10.1152/physiol.00004.2005.

Gollhofer, A. (Hrsg.) (1996). *Integrative Forschungsansätze in der Bio & Mechanik.* St. Agustin: Academia Verlag.

Gollhofer, A., Gruber, M., & Bruhn, S. (2003). Muskelphysiologie. In H. Mechling & J. Munzert (Hrsg.), *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Band 141. Handbuch Bewegungswissenschaft - Bewegungslehre* (S. 57–80). Schorndorf: Hofmann.

Gollhofer, A., Taube, W., & Gruber, M. (2009). Biomechanik der Skelettmuskulatur. In A. Gollhofer & W. Alt (Hrsg.), *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Band 171. Handbuch Sportbiomechanik* (S. 28–51). Schorndorf: Hofmann.

Gollhofer, A., & Alt, W. (Hrsg.) (2009). *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Band 171. Handbuch Sportbiomechanik.* Schorndorf: Hofmann.

Gonzalez-Badillo, J. J., Gorostiaga, E. M., Arellano, R., & Izquierdo, M. (2005). Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes during a short-term training cycle. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 19*(3), 689–697, from doi:10.1519/R-15574.1.

Gordon, A. M., Regnier, M., & Homsher, E. (2001). Skeletal and cardiac muscle contractile activation: tropomyosin "rocks and rolls". *News in physiological sciences, 16*, 49–55.

Gorostiaga, E. M., Izquierdo, M., Iturralde, P., Ruesta, M., & Ibanez, J. (1999). Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 80*(5), 485–493.

Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., & Takamatsu, K. (2005). The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Medicine and science in sports and exercise, 37*(6), 955–963.

Goto, K., Nagasawa, M., Yanagisawa, O., Kizuka, T., Ishii, N., & Takamatsu, K. (2004). Muscular adaptations to combinations of high- and low-intensity resistance exercises. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 18*(4), 730–737.

Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., Kraemer, R. R., Honda, Y., & Takamatsu, K. (2009). Hormonal and metabolic responses to slow movement resistance exercise with different durations of concentric and eccentric actions. *European journal of applied physiology, 106*(5), 731–739, from doi:10.1007/s00421-009-1075-9.

Goto, K., Takahashi, K., Yamamoto, M., & Takamatsu, K. (2008). Hormone and recovery responses to resistance exercise with slow movement. *The journal of physiological sciences : JPS, 58*(1), 7–14, from doi:10.2170/physiolsci.RP003107.

Gotshalk, L. A., Loebel, C. C., Nindl, B. C., Putukian, M., Sebastianelli, W. J., Newton, R. U., et al. (1997). Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquée, 22*(3), 244–255.

Gottlob, A. (2008). *Differenziertes Krafttraining: Mit Schwerpunkt Wirbelsäule* (2. Aufl., [Nachdr.]). München: Elsevier Urban & Fischer.

Granacher, U. (2003). *Neuromuskuläre Leistungsfähigkeit im Alter (> 60 Jahre): Auswirkungen von Kraft- und Sensomotorischem Training.* Dissertation, Freiburg i. Br.

Graves, J. E., Pollock, M. L., Jones, A. E., Colvin, A. B., & Leggett, S. H. (1989). Specificity of limited range of motion variable resistance training. *Medicine and science in sports and exercise, 21*(1), 84–89.

Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. H., Carpenter, D. M., Fix, C. K., & Fulton, M. N. (1992). Limited range-of-motion lumbar extension strength training. *Medicine and science in sports and exercise, 24*(1), 128–133.

Grosser, M., Starischka, S., Zimmermann, E., & Eisenhut, A. (2008). *Das neue Konditionstraining: Sportwissenschaftliche Grundlagen, Leistungssteuerung und Trainingsmethoden, Übungen und Trainingsprogramme* (10., neu bearb. Aufl. (Neuausg.)). *BLV Sportwissen.* München: BLV-Buchverl.

Güllich, A., & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 50*(7/8), 223–234.

Güllich, A., & Schmidtbleicher, D. (2000). Methodik des Krafttrainings - Struktur der Kraftfähigkeiten und ihre Trainingsmethoden. In M. Siewers (Hrsg.), *Muskelkrafttraining / hrsg. von Michael Siewers: Bd. 1. Ausgewählte Themen. [Alter, Dehnung, Ernährung, Methodik]*. Kiel: Siewers.

H

Haddad, F., Pandorf, C. E., Giger, J. M., & Baldwin, K. M. (2006). Striated muscle Plasticity: Regulation of the Myosin Heavy Chain Genes. In R. Bottinelli & C. Reggiani (Eds.), *Advances in Muscle Research: Skeletal muscle plasticity in health and disease. From genes to whole muscle* (pp. 55–90). Dordrecht: Springer.

Haddock, B. L., & Wilkin, L. D. (2006). Resistance training volume and post exercise energy expenditure. *International journal of sports medicine, 27*(2), 143–148, from doi:10.1055/s-2005-865601.

Haff, G. G., Carlock, J. M., Hartman, M. J., Kilgore, J. L., Kawamori, N., Jackson, J. R., et al. (2005). Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women olympic weightlifters. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 19*(4), 741–748.

Haff, G. G., Whitley, A., & Potteiger, J. A. (2001). A brief review: Explosive exercises and sports performance. *Strength & Conditioning Journal / National Strength & Conditioning Association, 23*(3), 13–20.

Häkkinen, K. (1989). Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. A review. *The Journal of sports medicine and physical fitness, 29*(1), 9–26.

Häkkinen, K., Alén, M., & Komi, P. V. (1985). Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta physiologica Scandinavica, 125*(4), 573–585.

Häkkinen, K., Komi, P. V., Alen, M., & Kauhanen, H. (1987). EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 56*(4), 419–427.

Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alén, M., & Komi, P. V. (1985). Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 53*(4), 287–293.

Häkkinen, K. (Ed.). 1998. *International Conference on Weightlifting and Strength Training: November 10 - 12, 1998, Lathi, Finland.*

Haller, N. (2007). *Bewegungsgeschwindigkeit im Krafttraining: Konzentrische und exzentrische Muskelarbeitsweise und deren Metabolismus.* Dissertation, Universität Konstanz, Konstanz. Zugriff am 28. Juni 2010, unter http://www.ub.uni-konstanz.de/kops/volltexte/2007/4069/.

Hansen, S., Kvorning, T., Kjaer, M., & Sjogaard, G. (2001). The effect of short-term strength training on human skeletal muscle: the importance of physiologically elevated hormone levels. *Scandinavian journal of medicine & science in sports, 11*(6), 347–354.

Hardie, D. G., & Sakamoto, K. (2006). AMPK: a key sensor of fuel and energy status in skeletal muscle. *Physiology (Bethesda, Md.), 21*, 48–60, from doi:10.1152/physiol.00044.2005.

Harridge, S. D. (2007). Plasticity of human skeletal muscle: gene expression to in vivo function. *Experimental physiology, 92*(5), 783–797.

Harris, G., Stone, M., O'Bryant, H., Proulx, C., & Johnson, R. (2000). Short-term performance effects of high power, high force, or combined weight-training methods. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 14*(1), 14–20.

Harris, N., Cronin, J., & Keogh, J. (2007). Contraction force specificity and its relationship to functional performance. *Journal of sports sciences, 25*(2), 201–212.

Hartmann, H., Bob, A., Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2008). Auswirkungen unterschiedlicher Periodisierungsmodelle im Krafttraining auf das Schnellkraft- und Explosivkraftverhalten der oberen Extremität. *Leistungssport, 38*(3), 17–22.

Hawke, T. J. (2005). Muscle stem cells and exercise training. *Exercise and sport sciences reviews, 33*(2), 63–68.

Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965a). Excitability and inhibitability of motoneurons of different sizes. *Journal of neurophysiology, 28*(3), 599–620.

Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965b). Functional significane of cell size in spinal motoneurons. *Journal of neurophysiology, 28*, 560–580.

Herzog, W. (2000). Force production in human skeletal muscle. In B. M. Nigg, B. R. MacIntosh, & J. Mester (Eds.), *Biomechanics and biology of movement* (pp. 269–281). Champaign, Ill.: Human Kinetics.

Herzog, W., & Ait-Haddou, R. (2003). Mechanical muscle models and their application to force and power production. In P. V. Komi (Ed.), *The Encyclopaedia of sports medicine: Vol. 3. Strength and power in sport* (2nd ed., pp. 154–183). Oxford: Blackwell Science.

Hickson, R. C., Hidaka, K., Foster, C., Falduto, M. T., & Chatterton, R. T. (1994). Successive time courses of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 76*(2), 663–670.

Hochmuth, G. (1982). *Biomechanik sportlicher Bewegungen.* Berlin: Sportverlag.

Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 35*(7), 585–595.

Hoeger, W. W. K., Hopkins, D. R., Barette, S. L., & Hale, D. F. (1990). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: a comparison between untrained and trained males and females. *The journal of applied sport science research, 4*(2), 47–54.

Hoffman, J. (2006). *Norms for Fitness, peformance and health.* Champaign, IL: Human Kinetics.

Hoffman, J. R., Im, J., Rundell, K. W., Kang, J., Nioka, S., Spiering, B. A., et al. (2003). Effect of muscle oxygenation during resistance exercise on anabolic hormone response. *Medicine and science in sports and exercise, 35*(11), 1929–1934.

Hohmann, A., & Giggel, S. (2005). Anmerkungen zur isometrischen und dynamischen Schnellkraftdiagnose. In R. Burger, D. Augustin, N. Müller, W. Steinmann, & M. Letzelter (Hrsg.), *Mainzer Studien zur Sportwissenschaft 23. Trainingswissenschaft - Facetten in Lehre und Forschung. Festschrift zur Verabschiedung von Prof. Dr. Manfred Letzelter* (S. 24–38). Niedernhausen/Ts.: Schors-Verl.

Hohmann, A., & Lames, M. (2007). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (4., überarb. und erw. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.

Hollmann, W., Hettinger, T., & Strüder, H. K. (2000). *Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin ; mit 101 Tabellen* (4., völlig neu bearb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Schattauer.

Hollmann, W., Strüder, H. K., & Diehl, J. (2009). *Sportmedizin: Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin ; mit 91 Tabellen* (5., völlig neu bearb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Schattauer.

Hood, D. A., & Hawke, T. J. (2006). Skeletal msucle stem cells: a symposium. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquée, nutrition et métabolisme, 31*, 771–772.

Hopkins, W. G. (2010). *A scale of magnitudes for effect statistics.* Zugriff am 28. Juni 2010, unter http://www.sportsci.org/resource/stats/index.html.

Hopkins, W. G. (2010). *Calculations for reliability.* Zugriff am 28. Juni 2010, unter http://www.sportsci.org/resource/stats/index.html.

Hopkins, W. G. (2000a). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 30*(1), 1–15.

Hopkins, W. G. (2000b). Reliability from consecutive pairs of trials (Excel spreadsheet), from www.sportsci.org/resource/stats/xrely.xls.

Hopkins, W. G., Schabort, E. J., & Hawley, J. A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 31*(3), 211–234.

Hori, N., Newton, R. U., Nosaka, K., & McGuigan, M. R. (2006). Comparison of different methods of determining power output in weightlifting exercises. *Strength & Conditioning Journal / National Strength & Conditioning Association, 28*(2), 34–40.

Hori, N., Newton, R. U., Andrews, W. A., Kawamori, N., McGuigan, M. R., & Nosaka, K. (2007). Comparison of four different methods to measure power output during the hang power clean and the weighted jump squat. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 21*(2), 314–320, from doi:10.1519/R-22896.1.

Hortobagyi, T., Scott, K., Lambert, J., Hamilton, G., & Tracy, J. (1999). Cross-education of muscle strength is greater with stimulated than voluntary contractions. *Motor control, 3*(2), 205–219.

Höss-Jelten, C. (2004). *Untersuchungen zu den unmittelbaren Wirkungen verschiedener Dehnmethoden auf ausgewählte Kraftparameter.* Dissertation, Technische Universität München, München.

Housh, D. J., Housh, T. J., Johnson, G. O., & Chu, W. K. (1992). Hypertrophic response to unilateral concentric isokinetic resistance training. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 73*(1), 65–70.

Howard, J. D., & Enoka, R. M. (1991). Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 70*(1), 306–316.

Humphries, B., Dugan, E. L., & Doyle, T. L. A. (2006). Muscular fitness. In L. A. Kaminsky (Ed.), *ACSM's resource manual for Guidelines for exercise testing and prescription* (5th ed., pp. 206–224). Baltimore MD: Lippincott Williams & Wilkins.

Hunter, G. R., Seelhorst, D., & Snyder, S. (2003). Comparison of metabolic and heart rate responses to super slow vs. traditional resistance training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 17*(1), 76–81.

Huxley, A. F. (1957). Muscle structure and theories of contraction. *Progress in biophysics and biophysical chemistry, 7*, 255–318.

I

Izquierdo, M., Gonzalez-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ibanez, J., Kraemer, W. J., Altadill, A., et al. (2006). Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *International journal of sports medicine, 27*(9), 718–724.

Izquierdo, M., Ibanez, J., Gonzalez-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., et al. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 100*(5), 1647–1656.

Izquierdo, M., Ibanez, J., Gorostiaga, E., Garrues, M., Zuniga, A., Anton, A., et al. (1999). Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta physiologica Scandinavica, 167*(1), 57–68.

J

Jakobi, J. M., & Chilibeck, P. D. (2001). Bilateral and unilateral contractions: possible differences in maximal voluntary force. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquée, 26*(1), 12–33.

Jandacka, D., & Vaverka, F. (2008). A regression model to determine load for maximum power output. *Sports biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports, 7*(3), 361–371.

Janssen, J., & Laatz, W. (1999). *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows* (3., neubearb. und erw. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Janssen, J. (2007). *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows: Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests* (Sechste, neu bearbeitete und erweiterte Auflage.). *Springer-11777 /Dig. Serial].* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Jansson, E., Esbjörnsson, M., Holm, I., & Jacobs, I. (1990). Increase in the proportion of fast-twitch muscle fibres by sprint training in males. *Acta physiologica Scandinavica, 140*(3), 359–363.

Jaric, S. (2002). Muscle strength testing: use of normalisation for body size. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 32*(10), 615–631.

Jaric, S. (2003). Role of body size in the relation between muscle strength and movement performance. *Exercise and sport sciences reviews, 31*(1), 8–12.

Javorek, I. S. (1998). The benefits of combination lifts. *Strength & Conditioning / National Strength & Conditioning Association, 30*(3), 53–56.

Jenkins, W. L., Thackaberry, M., & Killian, C. (1984). Speed-specific isokinetic training. *Journal of orthopaedic and sports physical therapy : the official publ. of the Orthopaedic and Sports Medicine Section of the American Physical Therapy Association, 6*, 181–183.

Jones, D. A., Rutherford, O. M., & Parker, D. F. (1989). Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *Quarterly journal of experimental physiology, 74*(3), 233–256.

Jones, K., Bishop, P., Hunter, G., & Fleisig, G. (2001). The effects of varying resistance-training loads on intermediate- and high-velocity-specific adaptations. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 15*(3), 349–356.

Jones, K., Hunter, G., Fleisig, G., Escamilla, R., & Lemak, L. (1999). The Effects of Compensatory Acceleration on Upper-Body Strength and Power in Collegiate Football Players. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 13*(2), 99–105.

K

Kadi, F., Charifi, N., Denis, C., Lexell, J., Andersen, J. L., Schjerling, P., et al. (2005). The behaviour of satellite cells in response to exercise: what have we learned from human studies? *Pflugers Archiv, 451*(2), 319–327, from doi:10.1007/s00424-005-1406-6.

Kadi, F., & Thornell, L. E. (2000). Concomitant increases in myonuclear and satellite cell content in female trapezius muscle following strength training. *Histochemistry and cell biology, 113*(2), 99–103.

Kamen, G., & Knight, C. A. (2004). Training-related adaptations in motor unit discharge rate in young and older adults. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences, 59*(12), 1334–1338.

Kaminsky, L. A. (Ed.) (2006). *ACSM's resource manual for Guidelines for exercise testing and prescription* (5th ed.). Baltimore MD: Lippincott Williams & Wilkins.

Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (Eds.) (2000). *Principles of neural science* (4th ed.). New York: McGraw-Hill Health Professions Division.

Kanehisa, H., & Miyashita, M. (1983). Specificity of velocity in strength training. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 52*(1), 104–106.

Kaneko, M., Fuchimoto, T., Toji, H., & Suei, K. (1983). Training effects of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scandinavian journal of sports sciences, 5*, 50–55.

Kawamori, N., & Haff, G. G. (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 18*(3), 675–684.

Kawamori, N., & Newton, R. U. (2006). Velocity specificity of resistance training: actual movement velocity versus intention to move explosively. *Strength & Conditioning Journal / National Strength & Conditioning Association, 28*(2), 86–91.

Keeler, L. K., Finkelstein, L. H., Miller, W., & Fernhall, B. (2001). Early-phase adaptations of traditional-speed vs. superslow resistance training on strenght and aerobic capacity in sendentary individuals. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 15*(3), 309–314.

Keen, D. A., Yue, G. H., & Enoka, R. M. (1995). Training-related enhancement in the control of motor output in elderly humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 77*(6), 2648–2658.

Kellis, E. (1998). Quantification of quadriceps and hamstring antagonist activity. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 25*(1), 37–62.

Kelso, T. (2000). The basics of muscle contraction: implications for strength training. In M. Brzycki (Ed.), *Maximize your training: insights from leading strength and fitness professionals* (pp. 35–80). Lincolnwood, IL: Masters Press.

Keogh, J. W. L., Wilson, G. J., & Weatherby, R. P. (1999). A cross-sectional comparison of different resistance training techniques in the bench press. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 13*(3), 247–258.

Kibele, A. (1995). *Bedingungsfaktoren von Kraft-Ausdauerleistungen* (Beiträge zur Sportwissenschaft, Band 22). Thun; Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch.

Kidgell, D. J., Sale, M. V., & Semmler, J. G. (2006). Motor unit synchronization measured by cross-correlation is not influenced by short-term strength training of a hand muscle. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale, 175*(4), 745–753, from doi:10.1007/s00221-006-0724-z.

Kline, R. B. (2005). *Beyond significance testing: Reforming data analysis methods in behavioral research* (1. ed., 2. printing.). Washington, DC: American Psychological Assoc.

Klinke, R., Silbernagl, S., & Bauer, C. (2005). *Lehrbuch Physiologie* (5., komplett überarb. Aufl). Stuttgart: Thieme.

Knuttgen, H. G., & Komi, P. V. (2003). Basic Considerations for Exercise. In P. V. Komi (Ed.), *The Encyclopaedia of sports medicine: Vol. 3. Strength and power in sport* (2nd ed., pp. 3–7). Oxford: Blackwell Science.

Knuttgen, H. G., & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and Measurement in Exercise Performance. *The journal of applied sport science research, 1*(1), 1–10.

Komi, P. V. (Hrsg.) (1994). *Kraft und Schnellkraft im Sport: eine Veröffentlichung der Medizinischen Komission des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS.* Köln: Dt. Ärtze-Verl.

Komi, P. V. (Ed.) (2003). *The Encyclopaedia of sports medicine: Vol. 3. Strength and power in sport* (2nd ed.). Oxford: Blackwell Science.

Konzak, J. (2003). Neurophysiologische Grundlagen der Motorik. In H. Mechling & J. Munzert (Eds.), *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport:Band 141. Handbuch Bewegungswissenschaft - Bewegungslehre* (S. 81–104). Schorndorf: Hofmann.

Kraemer, W. J., Dziados, J. E., Marchitelli, L. J., Gordon, S. E., Harman, E. A., Mello, R., et al. (1993). Effects of different heavy-resistance exercise protocols on plasma beta-endorphin concentrations. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 74*(1), 450–459.

Kraemer, W. J., Fleck, S. J., Dziados, J. E., Harman, E. A., Marchitelli, L. J., Gordon, S. E., et al. (1993). Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 75*(2), 594–604.

Kraemer, W. J., Gordon, S. E., Fleck, S. J., Marchitelli, L. J., Mello, R., Dziados, J. E., et al. (1991). Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *International journal of sports medicine, 12*(2), 228–235.

Kraemer, W. J., Marchitelli, L., Gordon, S. E., Harman, E., Dziados, J. E., Mello, R., et al. (1990). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 69*(4), 1442–1450.

Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K., et al. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 78*(3), 976–989.

Kraemer, W. J., & Fleck, S. J. (2007). *Optimizing strength training: Designing nonlinear periodization workouts.* Champaign IL: Human Kinetics.

Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2005). Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 35*(4), 339–361.

L

Latash, M. L. (1998). *Neurophysiological basis of movement.* Champaign, Ill.: Human Kinetics Publ.

Latash, M. L. (2008). *Neurophysiological basis of movement* (2nd ed.). Leeds: Human Kinetics.

Léger, B., Cartoni, R., Praz, M., Lamon, S., Dériaz, O., Crettenand, A., et al. (2006). Akt signalling through GSK-3beta, mTOR and Foxo1 is involved in human skeletal muscle hypertrophy and atrophy. *The Journal of physiology, 576*(3), 923–933, from doi:10.1113/jphysiol.2006.116715.

Leirdal, S., Roeleveld, K., & Ettema, G. (2007). Coordination Specificity in Strength and Power Training. *International journal of sports medicine,* from doi:10.1055/s-2007-965128.

Letzelter, H., & Letzelter, M. (1986). *Krafttraining: Theorie, Methoden, Praxis.* Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH.

Letzelter, H., & Letzelter, M. (1990). *Krafttraining: Theorie, Methoden, Praxis.* Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH.

Letzelter, H., Letzelter, M., & Steinmann W. (1990). Meßfehler in der Kraftdiagnostik. *Leistungssport, 20*(2), 46–52.

Letzelter, M., & Schilling, T. (1974). Maximalkraft und Schnellkraft bei Sprinterinnen unterschiedlicher Leistungsstärke. *Leibesübungen - Leibeserziehung, 27*(6), 146–150.

Liu, Y., Gampert, L., Prokopchuk, O., & Steinacker, J. (2007). Satellitenzellaktivierung beim Krafttraining. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 58*(1), 6–11.

Liu, Y., Schlumberger, A., Wirth, K., Schmidtbleicher, D., & Steinacker, J. M. (2003). Different effects on human skeletal myosin heavy chain isoform expression: strength vs. combination training. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 94*(6), 2282–2288.

Long, Y. C., Widegren, U., & Zierath, J. R. (2004). Exercise-induced mitogen-activated protein kinase signalling in skeletal muscle. *The Proceedings of the Nutrition Society, 63*(2), 227–232, from doi:10.1079/PNS2004346.

M

MacDougall, J. D. (2003). Hypertrophy and Hyperplasia. In P. V. Komi (Ed.), *The Encyclopaedia of sports medicine: Vol. 3. Strength and power in sport* (2nd ed., pp. 252–264). Oxford: Blackwell Science.

MacDougall, J. D., Elder, G. C., Sale, D. G., Moroz, J. R., & Sutton, J. R. (1980). Effects of strength training and immobilization on human muscle fibres. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 43*(1), 25–34.

MacDougall, J. D., Sale, D. G., Moroz, J. R., Elder, G. C., Sutton, J. R., & Howald, H. (1979). Mitochondrial volume density in human skeletal muscle following heavy resistance training. *Medicine and science in sports and exercise, 11*(2), 164–166.

MacDougall, J. D., Wenger, H. A., & Green, H. J. (Eds.) (1991). *Physiological testing of the high-performance athlete* (2nd ed). Champaign, Ill: Human Kinetics Books.

Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association, 18*(3), 551–555, from doi:10.1519/1533-4287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2.

Martin, D., & Weigelt, S. (Hrsg.) (1992). *Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft: Band 53. Trainingswissenschaft. Selbstverständnis und Forschungsansätze.* Sankt Augustin: Academia-Verl.

Martin, D., Carl, K., & Lehnertz, K. (1993). *Handbuch Trainingslehre* (2., unveränd. Aufl). *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Band 100.* Schorndorf: Hofmann.

Martin, D., Carl, K., & Lehnertz, K. (2001). *Handbuch Trainingslehre* (3., unveränd. Aufl.). *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Band 100.* Schorndorf: Hofmann.

Marx, J. O., Ratamess, N. A., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Dohi, K., et al. (2001). Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Medicine and science in sports and exercise, 33*(4), 635–643.

Massey, C. D., Vincent, J., Maneval, M., & Johnson, J. T. (2005). Influence of range of motion in resistance training in women: early phase adaptations. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 19*(2), 409–411, from doi:10.1519/R-14643.1.

Massey, C. D., Vincent, J., Maneval, M., Moore, M., & Johnson, J. T. (2004). An analysis of full range of motion vs. partial range of motion training in the development of strength in untrained men. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 18*(3), 518–521, from doi:10.1519/13263.1.

Maynard, J., & Ebben, W. P. (2003). The effects of antagonist prefatigue on agonist torque and electromyography. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 17*(3), 469–474.

Mazzetti, S., Douglass, M., Yocum, A., & Harber, M. (2007). Effect of explosive versus slow contractions and exercise intensity on energy expenditure. *Medicine and science in sports and exercise, 39*(8), 1291–1301.

McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2002). The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 16*(1), 75–82.

McBride, J. M., McCaulley, G. O., Cormie, P., Nuzzo, J. L., Cavill, M. J., & Triplett, N. T. (2009). Comparison of methods to quantify volume during resistance exercise. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 23*(1), 106–110.

McCall, G. E., Byrnes, W. C., Fleck, S. J., Dickinson, A., & Kraemer, W. J. (1999). Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquée, 24*(1), 96–107.

McCaulley, G. O., McBride, J. M., Cormie, P., Hudson, M. B., Nuzzo, J. L., Quindry, J. C., et al. (2009). Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *European journal of applied physiology, 105*(5), 695–704, from doi:10.1007/s00421-008-0951-z.

McDonagh, M. J., & Davies, C. T. (1984). Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 52*(2), 139–155.

McMurray, R. G., Eubank, T. K., & Hackney, A. C. (1995). Nocturnal hormonal responses to resistance exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 72*(1-2), 121–126.

Mechling, H. (1999). Fähigkeit-Fertigkeit: Generalität versus Spezifität im Techniktraining. In J. Wiemeyer (Hrsg.), *Techniktraining im Sport* (S. 31–46). TU Darmstadt.

Mechling, H., & Munzert, J. (Hrsg.) (2003). *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Band 141. Handbuch Bewegungswissenschaft - Bewegungslehre.* Schorndorf: Hofmann.

Mero, A., Komi, P. V., Kyllönen, A., Pullinen, T., & Pakarinen, A. (1992). Acute EMG, force and hormonal responses in male athletes to four strength exercise units: Abstracts of the XIII Congress, International Society of Biomechanics. *Journal of biomechanics, 25*(7), 752-752.

Mester, J., Nowak, S., Schmithüsen, J., Kleinöder, H., & Speicher, U. (2010). Kurz- und langfristige Trainingseffekte durch mechanische und elektrische Stimulation auf kraftdiagnostische Parameter. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2008/2009* (S. 103–116). Bonn: Bundesinstitut für Sportwissenschaft.

Miller, R. G., Mirka, A., & Maxfield, M. (1981). Rate of tension development in isometric contractions of a human hand muscle. *Experimental neurology, 73*(1), 267–285.

Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., Milanovic, S., & Jaric, S. (2004). Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. *European journal of applied physiology, 91*(2-3), 147–154.

Mooren, F., & Völker, K. (Eds.) (2005). *Molecular and cellular exercise physiology.* Champaign, IL: Human Kinetics.

Morat, T. (2009). *Untersuchung der Reliabilität der isometrischen Messung der Maximal- und Explosivkraft der Kniestrecker und -beuger bei Älteren unter Berücksichtigung verschieden hoher Vorspannungen.* Masterthesis, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln.

Morrissey, M. C., Harman, E. A., Frykman, P. N., & Han, K. H. (1998). Early phase differential effects of slow and fast barbell squat training. *The American journal of sports medicine, 26*(2), 221–230.

Morrissey, M. C., Harman, E. A., & Johnson, M. J. (1995). Resistance training modes: specificity and effectiveness. *Medicine and science in sports and exercise, 27*(5), 648–660.

Moss, B. M., Refsnes, P. E., Abildgaard, A., Nicolaysen, K., & Jensen, J. (1997). Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *European journal of applied physiology, 75*, 193–199.

Müller, K.-J. (1985). Explosivkraft - eine generelle oder spezifische Eigenschaft. In M. Bührle (Hrsg.), *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 144–160). Schorndorf: Verlag Karl Hofmann.

Müller, K.-J. (1987). *Statische und dynamische Muskelkraft: Beiträge zur Sportwissenschaft* (Nr. 7). Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch.

Mulligan, S. E., Fleck, S. J., Gordon, S. E., Koziris, L. P., & Triplett-McBride, N. T. (1996). Influence of Resistance Exercise Volume on Growth Hormone and Cortisol Concentrations in Women. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 10*(4), 256–262.

Munn, J., Herbert, R. D., & Gandevia, S. C. (2004). Contralateral effects of unilateral resistance training: a meta-analysis. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 96*(5), 1861–1866.

Munn, J., Herbert, R. D., Hancock, M. J., & Gandevia, S. C. (2005a). Resistance training for strength: effect of number of sets and contraction speed. *Medicine and science in sports and exercise, 37*(9), 1622–1626.

Munn, J., Herbert, R. D., Hancock, M. J., & Gandevia, S. C. (2005b). Training with unilateral resistance exercise increases contralateral strength. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 99*(5), 1880–1884.

N

Nader, G. A., & Esser, K. A. (2001). Intracellular signaling specificity in skeletal muscle in response to different modes of exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 90*(5), 1936–1942.

Nagaya, N., & Herrera, A. A. (1995). Effects of testosterone on synaptic efficacy at neuromuscular junctions in a sexually dimorphic muscle of male frogs. *The Journal of physiology, 483*(1), 141–153.

Nardone, A., Romanò, C., & Schieppati, M. (1989). Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *The Journal of physiology, 409*, 451–471.

Neils, C. M., Udermann, B. E., Brice, G. A., Winchester, J. B., & McGuigan, M. R. (2005). Influence of contraction velocity in untrained individuals over the initial early phase of resistance training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 19*(4), 883–887, from doi:10.1519/R-15794.1.

Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (1994). Developing explosive muscular power: Implications for a mixed methods training strategy. *Strength & Conditioning Journal / National Strength & Conditioning Association, 16*(5), 20–31.

Newton, R. U., Murphy, A. J., Humphries, B. J., Wilson, G. J., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (1997). Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 75*(4), 333–342.

Newton, R. U., Hakkinen, K., Hakkinen, A., McCormick, M., Volek, J., & Kraemer, W. J. (2002). Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older men. *Medicine and science in sports and exercise, 34*(8), 1367–1375.

Newton, R. U., Kraemer, W. J., Häkkinen, K., Humphries, B. J., & Murphy, A. J. (1996). Kinematics, Kinetics, and muscle activitation during explosive upper body movements. *Journal of applied biomechanics, 12*(1), 31–43.

Nigg, B. M., MacIntosh, B. R., & Mester, J. (Eds.) (2000). *Biomechanics and biology of movement.* Champaign, Ill.: Human Kinetics.

Nitsch, J. R. (Hrsg.) (1997). *Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft: Band 94. Techniktraining: Beiträge zu einem interdisziplinären Ansatz* (1. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.

Nitsch, J. R., & Munzert, J. (1997a). Handlungstheoretische Aspekte des Techniktrainings - Ansätze zu einem integrativen Modell. In J. R. Nitsch (Hrsg.), *Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft: Band 94. Techniktraining. Beiträge zu einem interdisziplinären Ansatz* (1. Aufl., S. 109–172). Schorndorf: Hofmann.

Nitsch, J. R., & Munzert, J. (1997b). Theoretische Probleme der Bewegungsregulation. In J. R. Nitsch (Hrsg.), *Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft: Band 94. Techniktraining. Beiträge zu einem interdisziplinären Ansatz* (1. Aufl., S. 50–71). Schorndorf: Hofmann.

O

Olivier, N., & Rockmann, U. (2003). *Grundlagen der Bewegungswissenschaft und -lehre. Grundlagen der Sportwissenschaft: Band 1.* Schorndorf: Hofmann.

Ostrowski, K. J., Wilson, G. J., Weatherby, R., Murphy, P. W., & Lyttle, A. D. (1997). The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 11*(3), 148–154.

P

Paddon-Jones, D., Leveritt, M., Lonergan, A., & Abernethy, P. (2001). Adaptation to chronic eccentric exercise in humans: the influence of contraction velocity. *European journal of applied physiology, 85*(5), 466–471.

Page, M. C., Braver, S. L., & MacKinnon, D. P. (2003). *Levine's guide to SPSS for analysis of variance: [free CD enclosed]* (2nd ed.). New York: Erlbaum.

Palmieri, G. A. (1987). Weight training and repetition speed. *The journal of applied sport science research, 1*(2), 36–38.

Pampus, B. (1995). *Schnellkrafttraining: Theorie, Methoden, Praxis.* Aachen: Meyer und Meyer.

Pampus, B. (2001). *Schnellkrafttraining: Theorie - Methoden - Praxis* (2., überarbeitete Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.

Papadopoulus, C., & Salonikidis, K. (2000). Diagnose und Auswertung der motorischen Fähigkeiten Kraft und Schnelligkeit bei jungen Schwimmern. *Leistungssport, 30*(4), 14–18.

Patten, C., Kamen, G., & Rowland, D. M. (2001). Adaptations in maximal motor unit discharge rate to strength training in young and older adults. *Muscle & nerve, 24*(4), 542–550.

Paulsen, G., Myklestad, D., & Raastad, T. (2003). The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 17*(1), 115–120.

Pereira, M. I. R., & Gomes, A. L. (2002). Effects of two movement velocities of isotonic exercise on gains in strength and muscular endurance. *Medicine and science in sports and exercise, 35*(5), S289.

Pereira, M. I. R., & Gomes, P. S. (2003). Movement velocity in resistance training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 33*(6), 427–438.

Pereira, M. I. R., & Gomes, P. S. C. (2007). Effects of isotonic resistance training at two movement velocities on strength gains. *Revista Brasileira de medicina do esporte, 13*(2), 79e-83e.

Pereira, M. I. R., Gomes, P. S. C., & Bhambhani, Y. N. (2007). Maximum number of repetitions in isotonic exercises: influence of load, speed and rest interval between sets. *Revista Brasileira de medicina do esporte, 13*(5), 260e-263e.

Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 18*(2), 377–382.

Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2005). Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 19*(4), 950–958.

Petrella, J. K., Kim, J.-S., Mayhew, D. L., Cross, J. M., & Bamman, M. M. (2008). Potent Myofiber Hypertrophy During Resistance Training in Humans is Associated with Satellite Cell-Mediated Myonuclear Addition: A Cluster Analysis. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*,

Pette, D., & Staron, R. S. (1991). Cellular and molecular diversities of mammalian skeletal muscle fibers. *Reviews of physiology, biochemistry and pharmacology, 116*, 1–76.

Pette, D. (2005). Acivity-Dependent Adaptive Responses of Skeletal Muscle Fibers. In F. Mooren & K. Völker (Eds.), *Molecular and cellular exercise physiology* (pp. 263–274). Champaign, IL: Human Kinetics.

Pette, D. (2006). Skeletal Muscle Plasticity - History, Facts and Concepts. In R. Bottinelli & C. Reggiani (Eds.), *Advances in Muscle Research: Skeletal muscle plasticity in health and disease. From genes to whole muscle* (pp. 1–27). Dordrecht: Springer.

Pette, D., & Staron, R. S. (2000). Myosin isoforms, muscle fiber types, and transitions. *Microscopy research and technique, 50*(6), 500–509.

Ploutz, L. L., Tesch, P. A., Biro, R. L., & Dudley, G. A. (1994). Effect of resistance training on muscle use during exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 76*(4), 1675–1681.

Pospeschill, M. (2005). *SPSS für Fortgeschrittene. Durchführung fortgeschrittener statistischer Analysen* (5. Aufl.). Hannover: RRZN Universität Hannover.

Preuß, P., Goebel, S., Greiwing, A., Müller, A., Schischek, A., & Stephan, A. (2006). Belastungssteuerung im Krafttraining: konzeptionell-inhaltliche Präzisierungen und Fragestellungen am Beispiel des Muskelaufbautrainings. *Leistungssport, 36*(2), 32–38.

Proske, U., & Allen, T. J. (2005). Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. *Exercise and sport sciences reviews, 33*(2), 98–104.

Pruessner, J. C., Kirschbaum, C., Meinlschmid, G., & Hellhammer, D. H. (2003). Two formulas for computation of the area under the curve represent measures of total hormone concentration versus time-dependent change. *Psychoneuroendocrinology, 28*(7), 916–931.

Pullinen, T., Mero, A., MacDonald, E., Pakarinen, A., & Komi, P. V. (1998). Plasma catecholamine and serum testosterone responses to four units of resistance exercise in young and adult male athletes. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 77*(5), 413–420.

R

Rahmani, A., Dalleau, G., Viale, F., Hautier, C. A., & Jean-Rene, L. (2000). Validity and reliability of a kinematic device for measuring the force developed during squatting. *Journal of applied biomechanics, 16*(1), 26–35.

Rapp, W., & Gollhofer, A. (1996). Einfluß visueller Informationen auf die Bewegungsprogrammierung bei reaktiven Bewegungsabläufen. In A. Gollhofer (Hrsg.), *Integrative Forschungsansätze in der Bio & Mechanik* (S. 81–88). St. Agustin: Academia Verlag.

Ratamess, N. A., Alvar, B. A., Evetoch, T. K., Housh, D. J., Kibler, W. B., Kraemer, W. J., et al. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and science in sports and exercise, 41*(3), 687–708, from doi:10.1249/MSS.0b013e3181915670.

Ratamess, N. A., Falvo, M. J., Mangine, G. T., Hoffman, J. R., Faigenbaum, A. D., & Kang, J. (2007). The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *European journal of applied physiology, 100*(1), 1–17, from doi:10.1007/s00421-007-0394-y.

Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W., & Naumann, E. (2008). *Quantitative Methoden: Einführung in die Statistik* (2., erw. Aufl., korrigierter Nachdr.). *Springer-LehrbuchBachelor.* Heidelberg: Springer.

Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., Volek, J. S., Maresh, C. M., Vanheest, J. L., Sharman, M. J., et al. (2005). Androgen receptor content following heavy resistance exercise in men. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology, 93*(1), 35–42, from doi:10.1016/j.jsbmb.2004.10.019.

Remmert, H., Brcko, K., & Henning, M. (2007). Auswirkungen unterschiedlicher Anspannungszeiten im Einsatztraining auf die Entwicklung der Maximalkraftfähigkeit. *Leistungssport, 37*(5), 15–19.

Rennie, M. J., Wackerhage, H., Spangenburg, E. E., & Booth, F. W. (2004). Control of the size of the human muscle mass. *Annual review of physiology, 66*, 799–828.

Rhea, M. R., Alvar, B. A., & Burkett, L. N. (2002). Single versus multiple sets for strength: a meta-analysis to address the controversy. *Research quarterly for exercise and sport, 73*(4), 485–488.

Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., & Ball, S. D. (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and science in sports and exercise, 35*(3), 456–464.

Rhea, M. R., & Alderman, B. L. (2004). A meta-analysis of periodized versus nonperiodized strength and power training programs. *Research quarterly for exercise and sport, 75*(4), 413–422.

Robertson, D., Caldwell, G., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2004). *Research methods in biomechanics.* Champaign, IL: Human Kinetics.

Robinson, J. M., Stone, M. H., Johnson, R. L., Penland, C. M., Warren, B. J., & Lewis, R. D. (1995). Effects of Different Weight Training Exercise/Rest Intervals on Strenght, Power and High Intensity Exercise Endurance. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 9*(4), 216–221.

Rommel, C., Bodine, S. C., Clarke, B. A., Rossman, R., Nunez, L., Stitt, T. N., et al. (2001). Mediation of IGF-1-induced skeletal myotube hypertrophy by PI(3)K/Akt/mTOR and PI(3)K/Akt/GSK3 pathways. *Nature cell biology, 3*(11), 1009–1013, from doi:10.1038/ncb1101-1009.

Ronnestad, B. R., Egeland, W., Kvamme, N. H., Refsnes, P. E., Kadi, F., & Raastad, T. (2007). Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 21*(1), 157–163, from doi:10.1519/R-19895.1.

Rooney, K. J., Herbert, R. D., & Balnave, R. J. (1994). Fatigue contributes to the strength training stimulus. *Medicine and science in sports and exercise, 26*(9), 1160–1164.

Rostock, J., & Zimmermann, K. (1997). Koordinationstraining zwischen Generalität und Spezifität. *Leistungssport, 27*(4), 28–30.

Rutherford, O. M., & Jones, D. A. (1986). The role of learning and coordination in strenght training. *European journal of applied physiology, 55*, 100–105.

S

Sachs, L., & Hedderich, J. (2006). *Angewandte Statistik: Methodensammlung mit R* (Zwölfte, vollständig neu bearbeitete Auflage.). *Springer-11777 /Dig. Serial].* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Sakamoto, A., & Sinclair, P. J. (2006). Effect of movement velocity on the relationship between training load and the number of repetitions of bench press. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 20*(3), 523–527.

Sale, D. G., MacDougall, J. D., Upton, A. R., & McComas, A. J. (1983). Effect of strength training upon motoneuron excitability in man. *Medicine and science in sports and exercise, 15*(1), 57–62.

Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and science in sports and exercise, 20*(5), S135-45.

Sale, D. G. (1991). Testing Strength and power. In J. D. MacDougall, H. A. Wenger, & H. J. Green (Eds.), *Physiological testing of the high-performance athlete* (2nd ed., pp. 21–106). Champaign, Ill: Human Kinetics Books.

Sale, D. G. (2003). Neural Adaptations to Strength Training. In P. V. Komi (Ed.), *The Encyclopaedia of sports medicine: Vol. 3. Strength and power in sport* (2nd ed., pp. 281–314). Oxford: Blackwell Science.

Schiaffino, S., Sandri, M., & Murgia, M. (2006). Signaling Pathways Controlling Muscle Fiber Size and Type in Response to Nerve Activity. In R. Bottinelli & C. Reggiani (Eds.), *Advances in Muscle Research: Skeletal muscle plasticity in health and disease. From genes to whole muscle* (pp. 91–120). Dordrecht: Springer.

Schlumberger, A. (2000). *Optimierung von Trainingsstrategien im Schnellkrafttraining* (1. Aufl). *Wissenschaftliche Berichte und Materialien / Bundesinstitut für Sportwissenschaft: Vol. 2000,6.* Köln: Sport und Buch Strauß.

Schlumberger, A., & Schmidtbleicher, D. (1998a). Development of dynamic strength and movement speed after high-intenity resistance training. In K. Häkkinen (Ed.), *International Conference on Weightlifting and Strength Training. November 10 - 12, 1998, Lathi, Finland* (pp. 163–164).

Schlumberger, A., & Schmidtbleicher, D. (1998b). Zeitlich verzögerte Effekte beim Krafttraining. *Leistungssport, 28*(3), 33–38.

Schlumberger, A., & Schmidtbleicher, D. (2000a). Anpassungen nach Krafttraining mit maximalen Lasten. *Sportwissenschaft, 30*(3), 249–261.

Schlumberger, A., & Schmidtbleicher, D. (2000b). Grundlagen der Kraftdiagnostik in Prävention und Rehabilitation. *Manuelle Therapie, 38*, 223–231.

Schlumberger, A., & Schmidtbleicher, D. (2001). Effekte eines Krafttrainings mit explosiv-isometrischen Kontraktionen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 52*(3), 94–99.

Schlumberger, A., Wirth, K., Liu, Y., Steinacker, J. M., & Schmidtbleicher, D. (2003). Effekte eines Trainings mit einer Schnellkraftmethodenkombination. *Leistungssport, 33*(4), 14–18.

Schmidt, N. (2008). *Einsatz- versus Mehrsatztraining. Ein Vergleich ausgewählter Kraft-, Leistungs- und Geschwindigkeitsparameter der Übungen Bankdrücken und Beinpresse.* Magisterarbeit, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.

Schmidtbleicher, D. (1980). *Maximalkraft und Bewegungsschnelligkeit.* Bad Homburg v.d.H.: Limpert.

Schmidtbleicher, D. (1994). Training in Schnellkraftsportarten. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport: eine Veröffentlichung der Medizinischen Komission des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS* (S. 374–387). Köln: Dt. Ärtze-Verl.

Schmidtbleicher, D. (2003). Motorische Eigenschaft Kraft: Struktur, Komponenten, Anpassungserscheinungen, Trainingsmethoden und Periodisierung. In W. Fritsch (Hrsg.), *Rudern – erfahren, erkunden, erforschen* (S. 15–40). Gießen: Wirth-Verlag (Sport Media).

Schnabel, D., Harre, D., & Borde, A. (1994). *Trainingswissenschaft: Leistung, Training, Wettkampf* (1. Aufl.). Berlin: Sport und Gesundheit Verlag GmbH.

Schott, J., McCully, K., & Rutherford, O. M. (1995). The role of metabolites in strength training. II. Short versus long isometric contractions. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 71*(4), 337–341.

Sforzo, G. A., & Touey, P. R. (1996). Manipulating exercise order affects muscular performance during a resistance exercise training session. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 10*(1), 20–24.

Sheskin, D. J. (2004). *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures* (3rd ed.). Boca Raton, Fla.: Chapman & Hall/CRC.

Siewers, M. (Hrsg.) (2000). *Muskelkrafttraining / hrsg. von Michael Siewers: Bd. 1. Ausgewählte Themen: [Alter, Dehnung, Ernährung, Methodik].* Kiel: Siewers.

Siff, M. C. (2000). *Supertraining* (5th ed.). Denver.

Simão, R., Farinatti, P. T. V. de, Polito, M. D., Maior, A. S., & Fleck, S. J. (2005). Influence of exercise order on the number of repetitions performed and perceived exertion during resistance exercises. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 19*(1), 152–156, from doi:10.1519/1533-4287 (2005)19<152:IOEOOT>2.0.CO;2.

Sleivert, G. G., & Wenger, H. A. (1994). Reliability of measuring isometric and isokinetic peak torque, rate of torque development, integrated electromyography, and tibial nerve conduction velocity. *Archives of physical medicine and rehabilitation : official journal, 75*(12), 1315–1321.

Smilios, I., Pilianidis, T., Karamouzis, M., & Tokmakidis, S. P. (2003). Hormonal Responses after Various Resistance Exercise Protocols. *Medicine and science in sports and exercise, 35*(4), 644–654.

Smith, L. L. (2000). Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? *Medicine and science in sports and exercise, 32*(2), 317–331.

Smith, L. L. (2004). Tissue trauma: the underlying cause of overtraining syndrome? *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 18*(1), 185–193.

Smith, M. A., & Reid, M. B. (2006). Redox modulation of contractile function in respiratory and limb skeletal muscle. *Respiratory physiology & neurobiology, 151*(2-3), 229–241, from doi:10.1016/j.resp.2005.12.011.

Spiering, B. A., Kraemer, W. J., Anderson, J. M., Armstrong, L. E., Nindl, B. C., Volek, J. S., et al. (2008). Resistance exercise biology : manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 38*(7), 527–540.

Spreuwenberg, L. P. B., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Silvestre, R., et al. (2006). Influence of exercise order in a resistance-training exercise session. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 20*(1), 141–144, from doi:10.1519/R-18185.1.

SPSS Inc. (2009). *SPSS Statistics 17.0 Command Syntax Reference.*

Steinacker, J. M., Wang, L., Lormes, W., Reißnecker, S., & Liu, Y. (2002). Strukturanpassungen des Skelettmuskels auf Training. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 53*(12), 354–360.

Steinberg, G. R., Watt, M. J., McGee, S. L., Chan, S., Hargreaves, M., Febbraio, M. A., et al. (2006). Reduced glycogen availability is associated with increased AMPKalpha2 activity, nuclear AMPKalpha2 protein abundance, and GLUT4 mRNA expression in contracting human skeletal muscle. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquée, nutrition et métabolisme, 31*(3), 302–312, from doi:10.1139/h06-003.

Steinmann, W. (1988). *Krafttraining im Sportunterricht. Sportwissenschaftliche Dissertationen: Band 29.* Ahrensburg bei Hamburg: Czwalina.

Stoll, T. (2002). *Isometric muscle strength measurement.* Stuttgart u.a.: Thieme.

Stone, M. H., Moir, G., Glaister, M., & Sanders, R. (2002). How much strength is necessary? *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine, 3*, 88–96.

Stone, M. H., & Bordon, R. A. (1997). Modes and methods of resistance training. *Strength & Conditioning Journal / National Strength & Conditioning Association, 19*(4), 18–24.

Stone, M. H., Stone, M., & Sands, B. (2007). *Principles and practice of resistance training.* Champaign IL: Human Kinetics.

Suetta, C., Aagaard, P., Magnusson, S. P., Andersen, L. L., Sipilä, S., Rosted, A., et al. (2007). Muscle size, neuromuscular activation, and rapid force characteristics in elderly men and women: effects of unilateral long-term disuse due to hip-osteoarthritis. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 102*(3), 942–948, from doi: 10.1152/japplphysiol.00067.2006.

T

Tanimoto, M., & Ishii, N. (2006). Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 100*(4), 1150–1157.

Tanimoto, M., Sanada, K., Yamamoto, K., Kawano, H., Gando, Y., Tabata, I., et al. (2008). Effects of whole-body low-intensity resistance training with slow movement and tonic force generation on muscular size and strength in young men. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 22*(6), 1926–1938, from doi:10.1519/JSC.0b013e318185f2b0.

Tax, A. A., van der Denier Gon, J. J., Gielen, C. C., & van den Tempel, C. M. (1989). Differences in the activation of m. biceps brachii in the control of slow isotonic movements and isometric contractions. *Experimental brain research, 76*(1), 55–63.

Thomas, G. A., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Anderson, J. M., & Maresh, C. M. (2007). Maximal power at different percentages of one repetition maximum: influence of resistance and gender. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 21*(2), 336–342, from doi:10.1519/R-55001.1.

Thomas, J. R., & Nelson, J. K. (2001). *Research methods in physical activity* (4th ed.). Champaign: Human Kinetics.

Tidow, G. (1994). Lösungsansätze zur Optimierung des Schnellkrafttrainings auf der Basis muskelbioptischer Befunde. In R. Brack, A. Hohmann, & H. Wieland (Hrsg.), *Symposium der DVS-Sektion Trainingswissenschaft: Band 2. Trainingssteuerung. Konzeptionelle und trainingsmethodische Aspekte* (S. 219–225). Stuttgart: Naglschmid.

Tidow, G. (1995). Zur Optimierung des Schnellkrafttrainings. *Leichtathletiktraining, 34*(49, Die Lehre der Leichtathletik 35/95), 213–220.

Tipton, C. M., Sawka, M. N., Tate, C. A., & Terjung, R. L. (Eds.) (2006). *ACSM´s advanced exercise physiology.* Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.

Toigo, M. (2006a). Trainingsrelevante Determinanten der molekularen und zellulären Skelettmuskeladaptation: Teil 1: Einleitung und Längenadaptation. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie, 54*(3), 101–107.

Toigo, M. (2006b). Trainingsrelevante Determinanten der molekularen und zellulären Skelettmuskeladaptation: Teil 2: Adaptation von Querschnitt und Fasertypusmodulen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie, 54*(4), 121–132.

Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European journal of applied physiology, 97*(6), 643–663.

Toji, H., Suei, K., & Kaneko, M. (1997). Effects of combined training loads on relations among force, velocity, and power development. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquée, 22*(4), 328–336.

Tran, Q. T., Docherty, D., & Behm, D. (2006). The effects of varying time under tension and volume load on acute neuromuscular responses. *European journal of applied physiology, 98*(4), 402–410, from doi:10.1007/s00421-006-0297-3.

Tsika, R. (2006). The Muscular System: The Control of Muscle Mass. In C. M. Tipton, M. N. Sawka, C. A. Tate, & R. L. Terjung (Eds.), *ACSM´s advanced exercise physiology* (pp. 161–177). Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.

Tusker, F. (1994). *Bestimmung von Kraftparametern eingelenkiger Kraftmessungen.* Aachen: Shaker.

V

Vale, R. D., & Milligan, R. A. (2000). The way things move: looking under the hood of molecular motor proteins. *Science, 288*(5463), 88–95.

van Cutsem, M., Duchateau, J., & Hainaut, K. (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *The Journal of physiology, 513*(1), 295–305.

van Wassenbergh, S. (2007). *Butterworth Filter.xla.* Zugriff am 28. Februar 2008, unter http://webh01.ua.ac.be/funmorph/sam/Excel_Tools.htm.

Verchosanskij, J. V. (1971). Grundlagen des speziellen Krafttrainings im Sport. *Theorie und Praxis der Körperkultur, 20*(9), 132–142.

Viitasalo, J. T. (1982). Effects of pretension on isometric force production. *International journal of sports medicine, 3*(3), 149–152.

Viitasalo, J. T., & Komi, P. V. (1978). Force-time characteristics and fiber composition in human leg extensor muscles. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 40*(1), 7–15.

Viru, A., Viru, M., & Bosco, C. (2003). Hormones in short-term exercises: resistance and power exercises. *Strength & Conditioning Journal / National Strength & Conditioning Association, 25*(5), 7–15.

Volek, J. S., Kraemer, W. J., Bush, J. A., Incledon, T., & Boetes, M. (1997). Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 82*(1), 49–54.

W

Wahl, P., Bloch, W., & Mester, J. (2009). Moderne Betrachtungsweise des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie, 57*(3), 100–107.

Wakayama, A., Nagano, A., Hay, D., & Fukashiro, S. (2005). Effects of pretension on work and power output of the muscle-tendon complex in dynamic elbow flexion. *European journal of applied physiology, 94*(3), 339–347, from doi:10.1007/s00421-004-1289-9.

Wallace, D. C. (1999). Mitochondrial diseases in man and mouse. *Science, 283*(5407), 1482–1488.

Weineck, J. (2007). *Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (15. Aufl.). Balingen: Spitta.

Werchoshanskij, J. W., & Tatjan, W. W. (1975). Komponenten und funktionelle Struktur der Explosivkraft des Menschen. *Leistungssport, 5*(1), 25–31.

Wernbom, M., Augustsson, J., & Raastad, T. (2008). Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise? *Scandinavian journal of medicine & science in sports, 18*(4), 401–416, from doi:10.1111/j.1600-0838.2008.00788.x.

Wernbom, M., Augustsson, J., & Thomee, R. (2007). The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 37*(3), 225–264.

Westcott, W. L., Winett, R. A., Anderson, E. S., Wojcik, J. R., Loud, R. L., Cleggett, E., et al. (2001). Effects of regular and slow speed resistance training on muscle strength. *The Journal of sports medicine and physical fitness, 41*(2), 154–158.

Westermann, R. (2000). *Wissenschaftstheorie und Experimentalmethodik: Ein Lehrbuch zur psychologischen Methodenlehre.* Göttingen: Hogrefe.

Wheater, C. P., & Cook, P. A. (2003). *Using statistics to understand the environment* (Reprint-ed.). *Routledge introductions to environment series.* London: Routledge.

Wiemeyer, J. (Hrsg.) (1999). *Techniktraining im Sport:* TU Darmstadt.

Willardson, J. M. (2006). A brief review: factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 20*(4), 978–984, from doi:10.1519/R-17995.1.

Willardson, J. M. (2007). The application of training to failure in periodized multiple-set resistance exercise programs. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 21*(2), 628–631, from doi:10.1519/R-20426.1.

Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2004). *Physiology of sport and exercise* (3rd ed.). Champaign, Ill.: Human Kinetics.

Wilson, G. J., Lyttle, A. D., Ostrowski, K. J., & Murphy, A. J. (1995). Assessing dynamic performance: A comparison of rate of force development tests. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 9*(3), 176–181.

Wilson, G. J., & Murphy, A. J. (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports medicine (Auckland, N.Z.), 22*(1), 19–37.

Wilson, G. J., Murphy, A. J., & Walshe, A. (1996). The specificity of strength training: the effect of posture. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 73* (3-4), 346–352.

Winter, D., & Eng, P. (1995). Kinetics: our window into the goals and strategies of the central nervous system. *Behavioural Brain Research, 67*, 111–120.

Winter, D. A. (2005). *Biomechanics and motor control of human movement* (3rd ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

Wirth, K., Bob, A., Müller, S., & Schmidtbleicher, D. (2008). Vergleich verschiedener Trainingsmethoden zur Schnellkraftentwicklung. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch – Forschungsförderung 2006/07* (S. 191–201). Bonn: Bundesinstitut für Sportwissenschaft.

Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2007a). Periodisierung im Schnellkrafttraining: Teil 2: Theoretische Grundlagen der Periodisierung und ihre praktische Anwendung im Schnellkrafttraining. *Leistungssport, 37*(2), 16–20.

Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2007b). Periodisierung im Schnellkrafttraining. Teil 1: Physiologische Grundlagen des Schnellkrafttrainings. *Leistungssport, 37*(1), 35–40.

Wirtz, N., Buitrago, S., Kleinoeder, H., & Mester, J. (2009). Auswirkungen klassischer Krafttrainingsmethoden auf die Sauerstoffaufnahme während und nach einmaligen, erschöpfenden Belastungen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie, 57*(3), 108–112.

Wolfe, B. L., LeMura, L. M., & Cole, P. J. (2004). Quantitative analysis of single- vs. multiple-set programs in resistance training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 18*(1), 35–47.

Y

Yao, W., Fuglevand, R. J., & Enoka, R. M. (2000). Motor-unit synchronization increases EMG amplitude and decreases force steadiness of simulated contractions. *Journal of neurophysiology, 83*(1), 441–452.

Young, W. B., & Bilby, G. E. (1993). The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 7*(3), 172–178.

Young, W. B. (2006). Transfer of strength and power training to sports performance. *International journal of sports physiology and performance, 1*(2), 74–83.

Yu, B., Gabriel, D., Noble, L., & An, K.-N. (1999). Estimate of the optimum cutoff frequency for the butterworth low-pass digital filter. *Journal of applied biomechanics, 15*, 318–329.

Z

Zafeiridis, A., Smilios, I., Considine, R. V., & Tokmakidis, S. P. (2003). Serum leptin responses after acute resistance exercise protocols. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 94*(2), 591–597, from doi:10.1152/japplphysiol.00330.2002.

Zatsiorsky, V. M. (1996). *Krafttraining - Wissenschaft und Praxis* (1. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.

Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2008). *Krafttraining: Praxis und Wissenschaft* (3., überarb. und erg. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.

Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006). *Science and practice of strength training* (2nd ed). Champaign, IL: Human Kinetics.

Zhou, S. (2000). Chronic neural adaptations to unilateral exercise: mechanisms of cross education. *Exercise and sport sciences reviews, 28*(4), 177–184.

Zhou, S., McKenna, M. J., Lawson, D. L., Morrison, W. E., & Fairweather, I. (1996). Effects of fatigue and sprint training on electromechanical delay of knee extensor muscles. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 72*(5-6), 410–416.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Trainingsablauf der 16-wöchigen Studie. Zwischen den einzelnen Kontraktionen lag eine einsekündige Pause, die Satzpause betrug 2-3 Minuten. 18

Abbildung 2-2: Trainingsanpassungen des maximalen isokinetischen Drehmoments an intendiert-ballistische isometrische (A) und isokinetische (B) Kontraktionen (Behm & Sale, 1993a, p. 363). 19

Abbildung 2-3: Trainingsanpassungen des isometrischen maximalen Drehmoments (MVC) und der maximalen isometrischen Explosivkraft (MRTD) beider Gruppen (Behm & Sale, 1993a, p. 364). 19

Abbildung 2-4: Mittlere prozentuale Veränderung der Trainingsgruppen. RFD_{max}, maximale isometrische Kraftentwicklung; IsoMK, isometrische Maximalkraft (mod. nach Young & Bilby, 1993). 20

Abbildung 2-5: Veränderungen der maximalen Leistung in der Beinpresse bei den verschiedenen Testlasten. HI, intendiert-explosive Bewegungsausführung; LO, 2-sekündige konzentrische Phase (mod. nach Fielding, LeBrasseur, Cuoco, Bean, Mizer, & Fiatarone Singh, 2002, p. 661)..... 21

Abbildung 2-6: Veränderung des 1 RM und der maximalen Leistung (P_{max}) in der Bein- und Brustpresse (vgl. Bottaro, Machado, Nogueira, Scales, & Veloso, 2007, pp. 260–261). 22

Abbildung 2-7: Veränderungen der Testvariablen beider Trainingsgruppen über den Untersuchungszeitraum. BD, Bankdrücken; LGS, Liegestütz, F_{max}, maximale Kraft; P_{mw}, mittlere Leistung (mod. nach Jones et al., 1999). 23

Abbildung 2-8: Prozentuale Veränderungen der mittleren Geschwindigkeiten bei 0.37, 0.66, 16.6 und 20 kg in der Gruppe BHC (BPC, gepoolte Gruppe aus BPH und BPL; mod. nach Almasbakk & Hoff, 1996). 25

Abbildung 2-9: Veränderungen der Testvariablen (DJ, Drop Jump; SJ, Squat Jump; CMJ 30/50, Countermovement Jump mit 30% bzw. 50% 1 RM; P_{max}, maximale Leistung, v_{max}, maximale Geschwindigkeit; F_{max}, maximale Kraft; *, sig. Unterschied innerhalb der Gruppen ($p \leq .05$); #, sig. Unterschied zwischen den Gruppen ($p \leq .05$); mod. nach Jones et al., 2001). 28

Abbildung 2-10: Veränderung der mittleren maximalen Leistung im Armbeugen bei verschiedenen Testlasten (mod. nach Moss et al., 1997, p. 195; G90, Trainingsgruppe 90% 1 RM; G35, Trainingsgruppe 35% 1 RM; G15, Trainingsgruppe 15% 1 RM. 29

Abbildung 2-11: Relative Veränderungen in der Kraft-Geschwindigkeits-Kurve (links) und der Kraft-Leistungs-Kurve (rechts) in den Trainingsgruppen. Die Pre-Trainingswerte dienen als Referenz (100%) (Kaneko et al., 1983; G0, 0% Trainingslast; G30, 30% Trainingslast; G60, 60% Trainingslast; G100, 100% Trainingslast)..... 30

Abbildung 2-12: Prozentuale Veränderungen Gruppen der F_{max}, v_{max}, P_{max} und Sprunghöhe in der Sprungkniebeuge mit unterschiedlichen Testlasten (*, sig. Veränderung von Pre- zu Post-Test ($p \leq .05$); #, sig. Unterschied zwischen JS30 und JS80 ($p \leq .05$); mod. nach McBride et al., 2002, p. 79). 31

Abbildung 2-13: Kraft-Geschwindigkeits- und Kraft-Leistungs-Kurven vor und nach der Trainingsintervention. Die Pfeile bezeichnen den Punkt des maximalen Leistungsoutputs (Toji et al., 1997; *, signifikanter Unterschied Pre-Post ($p \leq .05$); **, signifikanter Unterschied Pre-Post ($p \leq .01$); Erläuterung G30 + 100 und G30 + 100 s. Text). 32

Abbildung 2-14: Muscle fibre CSA (μm^2) pre- and post-training. Values are mean (SE). Long concentric training group (LC), long eccentric training group (LE). * indicates significant ($p < 0.01$) divergence from previous measurement. Differences between groups were not significant (Gillies, Putman, & Bell, 2006, p. 449). 35

Abbildung 2-15: Prozentuale Kraftveränderung aller Tests (mod. nach Haller, 2007, S. 53). 36

Abbildung 2-16: Prozentuale Veränderung der Maximalkraft in der Traditionellen und Superslow Gruppe (#, signifikanter Unterschied Pre-Post ($p \leq .05$); mod. nach Keeler et al., 2001). 37

Abbildung 2-17: Prozentuale Veränderungen in den sportmotorischen Tests (*, signifikant höhere Werte im Vergleich zum Pre-Test ($p \leq .05$); mod. nach Morrissey et al., 1998). 38

Abbildung 2-18: Mittlere prozentuale Veränderung der isokinetsichen Arbeit bei verschiedenen Testgeschwindigkeiten (*, signifikanter Unterschied zu Pre-Test ($p \leq .05$); mod. nach Morrissey et al., 1998). 38

Abbildung 2-19: Strength changes for the elbow flexors (expressed in kilograms) for control and trained subjects following 6 wk of progressive resistance training. Data are group means and SD. Circles represent individual subjects (Munn et al., 2005a, p. 1624). 40

Abbildung 2-20: Prozentuale Veränderungen des 1 RM Bankdrücken und Kniebeugen sowie der maximalen Leistung im Countermovement Jump (CMJ) und Squat Jump (SJ) (*, sig. Unterschied Pre-Post ($p \leq .05$); #, sig. Gruppenunterschied ($p \leq .05$); t, tendenzieller Gruppenunterschied; mod. nach Neils et al., 2005). 41

Abbildung 2-21: Ergebnisse der Maximalkraft- und Wiederholungstests bei den Testübungen Kniebeuge und Bankdrücken (*, signifikanter Haupteffekt Zeit ($p \leq .001$); mod. nach Pereira & Gomes, 2007). 42

Abbildung 2-22: Effekte der 12-wöchigen Krafttrainingsprogramme auf die Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung (*, sig. Veränderung ($p < .05$) zwischen Pre- und Post-Test; †, Post-Test LST sig. höher ($p < .05$) als LN; ††, Post-Test HN sig. höher ($p < .05$) als LST und LN; mod. nach Tanimoto & Ishii, 2006, p. 1156). 43

Abbildung 2-23: Summen der 1 RM Testergebnisse vor und nach dem Trainingszeitraum (*, sig. Unterschied ($p < .05$) Pre-Post-Training; †, sig. Unterschied ($p < .05$) zwischen den Gruppen; Tanimoto et al., 2008). 44

Abbildung 2-24: Vergleich der akuten Testosteron- (a) und Cortisolauslenkungen (b) vor und nach den verschiedenen Belastungsprotokollen (H, Hypertrophie-; S, Maximalkraft-; P, Power-; R, Kontrollbedingungen; PRE, vor Belastung; IP, direkt nach Belastung; 60 minute, 60 Minuten nach Belastung; *, signifikanter ($p < .05$) Unterschied zu R; McCaulley et al., 2009). 49

Abbildung 2-25: Experimentelles Design mit zwei Serien und jeweils drei Belastungskonfigurationen (Kraemer et al., 1990). 50

Abbildung 2-26: Akute hormonelle Auslenkungen von hGH, Testosteron und Cortisol nach dem Training (*, $p < .05$; McMurray, Eubank, & Hackney, 1995.) 51

Abbildung 2-27: hGH-Konzentrationen nach einem Maximalkraft- (MS) und Hypertrophieprotokoll (MH) mit 2 (A), 4 (B) und 6 (C) Trainingssätzen sowie Kontrollbedingungen (a, $p < .05$ im Vergleich zur Kontrolle; b, $p < .05$ im Vergleich zu MS; d, $p < .05$ vom Pre-Wert; mod. nach Smilios et al., 2003). 52

Abbildung 2-28: hGH-, Testosteron- und Cortisolkonzentrationen nach Belastung (*, $p < .05$; ¶, $p < .05$ zwischen LS und HN; †, $p < .05$ zwischen LS und LN; ‡, $p < .05$ zwischen den Protokollen; Goto et al., 2008, p. 12). 54

Abbildung 2-29: Akute hGH-, Testosteron- und Cortisolauslenkungen nach unterschiedlichen Belastungsprotokollen (*, $p < .05$ versus Pre; †, $p < .05$ zwischen den Protokollen; Goto et al., 2009). 55

Abbildung 2-30: Effekt eines Einsatz- und Mehrsatz-Training auf das zirkulierende IGF-1 in den Wochen 0, 13 und 25 (*, sig. Unterschied ($p < .05$) zu Woche 0; $n = 9$-11; Borst et al., 2001). 58

Abbildung 2-31: Hauptbeanspruchungsformen der Kraft (mod. nach Hollmann et al., 2009, S. 169). 64

Abbildung 2-32: Struktur der motorischen Eigenschaft Kraft (DVZ, Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus; mod. nach Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 224). 65

Abbildung 2-33: Kraft-Zeit-Kurven zweier unterschiedlicher Athleten bei derselben Aufgabe (Siff, 2000, p. 109). 67

Abbildung 2-34: Das motorische System (Ghez & Krakauer, 2000, p. 667). 71

Abbildung 2-35: Einzelzuckung, Superposition und tetanische Kontraktion (Klinke et al., 2005, S. 114). 72

Abbildung 2-36: Schematische Darstellung unterschiedlicher motorischer Einheiten (FTG, fast twitch glycolytic; FTO, fast twitch oxidative; ST, slow twitch Hohmann & Lames, 2007, S. 70). 72

Abbildung 2-37: Größenordnungsprinzip bei der Rekrutierung (Hohmann & Lames, 2007, S. 71). 73

Abbildung 2-38: Reduzierung der Rekrutierungsschwelle von 3 ME (MU) bei zunehmender Kraftentwicklung (mod. nach Duchateau et al., 2006, p. 1767). 73

Abbildung 2-39: Korridor der aktivierten und ermüdeten ME (mod. Zatsiorsky, 1996, S. 126). 74

Abbildung 2-40: Double discharge (B); als mögliche Ursache kommt eine verzögerte Depolarisation (A) in Betracht (Garland & Griffin, 1999, p. 121). 75

Abbildung 2-41: Mögliche neuronale Adaptationen im Krafttraining (mod. nach Sale, 2003, p. 282). 75

Abbildung 2-42: Mögliche neuronale Adaptationsmechanismen für Kraftzuwächse (IN, Interneuron; MN, Motoneuron; e, Extensor; f, Flexor; Enoka, 2008, p. 366)..... 76

Abbildung 2-43: Kraftsteigerungen durch trainingsinduzierte Agonistenaktivierung mittels Rekrutierung und Frequenzierung (MU, motor unit; Sale, 2003, p. 283). 76

Abbildung 2-44: Vielfältige Komponenten bestimmen das mechanische und metabolische Verhalten des Muskels (MHC, myosin heavy chain [schwere Myosinkette]; mod. nach Aagaard & Bangsbo, 2006, p. 145). 79

Abbildung 2-45: Der Querbrückenzyklus (Klinke et al., 2005, S. 106). 81

Abbildung 2-46: Einfluss der Sarkomerlänge auf die aktive isometrische Kraft (Klinke et al., 2005, S. 118)..... 82

Abbildung 2-47: Zusammenhang von Muskelkraft und der Ausgangslänge. Getrennte Betrachtung der aktiven und der passiven Kraftkomponenten. Die nach außen wirkende Gesamtkraft (F_{ges}) setzt sich aus diesen beiden Anteilen zusammen (Gollhofer et al., 2003, S. 66). 82

Abbildung 2-48: Vereinfachtes Schema des Faserspektrums und der Phänotypen (mod. nach Pette, 2005)..... 84

Abbildung 2-49: Elektromechanische Kopplung im Skelettmuskel (RyR, Ryanodin-Rezeptoren; DHPR, Dihydropyridin-Rezeptoren; Klinke et al., 2005, S. 109). 84

Abbildung 2-50: Öffnung des Ryanodin-Rezeptors mit Ca^{2+}-Freisetzung (RyR, Ryanodin-Rezeptoren; DHPR, Dihydropyridin-Rezeptoren; Klinke et al., 2005, S. 109). 85

Abbildung 2-51: (a) Verhältnis von Kraft (----, linke Ordinate) und Leistung (— — —, rechte Ordinate) zur Geschwindigkeit bei maximalen konzentrischen Muskelaktionen. (b) Verhältnis von Geschwindigkeit (----, linke Ordinate) und Leistung (— — —, rechte Ordinate) zur Kraftentfaltung bei maximalen konzentrischen Muskelaktionen. Alle Muskelaktionen sind konzentrisch mit Ausnahme der isometrischen Kontraktion bei einer Geschwindigkeit von Null (Fleck & Kraemer, 2004, p. 225)..... 86

Abbildung 2-52: Schematische Zusammenfassung der Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung von menschlichen Muskelfasern mit unterschiedlichen MHC-Isoformen; die Pfeile markieren die optimale Effizienz (L und fl, Faserlänge; mod. nach Harridge, 2007, p. 784 und Bottinelli & Reggiani, 2000). 87

Abbildung 2-53: Vereinfachtes Modell zur Beziehung von Muskelgröße und anabolen bzw. katabolen Stimuli (Toigo & Boutellier, 2006, p. 649). 88

Abbildung 2-54: Myofibrilläres Splitting (Folland & Williams, 2007, p. 151)..... 88

Abbildung 2-55: Die Bedeutung der Satellitenzellaktivierung in der Skelettmuskulatur (mod. nach Liu et al., 2007, S. 7) 91

Abbildung 2-56: Zusammenfassende Darstellung von möglichen Determinanten der molekularen und zellulären Skelettmuskeladaptation, Erläuterungen s. Text. 93

Abbildung 2-57: Hypothetisches Modell zur Muskelermüdung, zur Rekrutierung von Motorischen Einheiten (ME), und somit auch zur metabolischen Ausprägung des mechano-biologischen Reizes (MVT, maximum voluntary torque; TUTF, total time under tension until muscular failure; weitere Erläuterungen s. Text; Toigo, 2006b, S. 127). 95

Abbildung 2-58: Vereinfachtes Schema des Faserspektrums und der Phänotypveränderungen durch neuromuskuläre Aktivität (mod. nach Pette, 2005). .. 96

Abbildung 2-59: Die relative Verteilung von MHC Isoformen. *, signifikanter Unterschied in der MHC IIA Verteilung, post detraining < pre training < post training ($p < 0.05$); **, signifikanter Unterschied ($p < 0.01$) für die MHC IIx Verteilung, post detraining > pre training > post training. Werte als $M \pm SD$ ($n = 9$) (Andersen & Aagaard, 2000). 96

Abbildung 2-60: Intensität in % 1 RM und Kraftzuwachs (mod. Peterson et al., 2005, p. 952). 98

Abbildung 2-61: Satzzahl pro Muskelgruppe und Kraftzuwachs (mod. Peterson et al., 2005, p. 952) 100

Abbildung 2-62: Schematische Darstellung der Kraft-Geschwindigkeits-Relation im Muskel für konzentrische und exzentrische Kontraktionen (Crewther, Cronin, & Keogh, 2005, p. 977). 101

Abbildung 2-63: Trainingsfrequenz pro Muskelgruppe und Kraftzuwachs (mod. Peterson et al., 2005, p. 952). 102

Abbildung 2-64: Die relative Bedeutung von neuronalen und muskulären Anpassungen an Krafttraining (Sale, 2003, p. 305). 103

Abbildung 2-65: (a) Absolute strength function curve. (b) Marginal strength function curve (mod. nach Peterson et al., 2005). 103

Abbildung 2-66: Strength/power training model pattern of volume intensity (Fleck & Kraemer, 2004, p. 213). 104

Abbildung 2-67: Typische Kraft-Zeit-Kurve vom Anheben eines freien Gewichtes bis zum Absetzen. Bewegung findet erst statt, wenn die Kraft das Gewicht des Objektes übersteigt und ist durch den grau schraffierten Bereich der Kurve hervorgehoben. (1, Startkraft; 2, Beschleunigungskraft; 3, Kraftentwicklung; 4, maximale Kraftentwicklung; 5, Maximalkraft; 6, Kraftausdauer; 7, abbremsende Kraft; Siff, 2000, p. 107). 106

Abbildung 2-68: Vergleich der Mittelwerte ($\pm SD$) der isometrischen Maximalkraft und der maximalen isometrischen Kraftentwicklung bei unterschiedlichen muskulären Vorspannungen für die Kniestreckung (mod. nach Viitasalo, 1982; *, signifikant geringere Werte ($p \leq .05$) im Vergleich zu 0% muskuläre Vorspannung; #, signifikant geringere Werte ($p \leq .001$) im Vergleich zu 0% muskuläre Vorspannung). 108

Abbildung 2-69: Vergleich der Mittelwerte (± *SD*) der maximalen isometrischen Drehmomententwicklung bei unterschiedlichen muskulären Vorspannungen für die Kniebeuger und Kniestrecker zum Messzeitpunkt T2 (mod. nach Morat, 2009, S. 41; *, signifikant höhere Werte ($p \leq .05$)). 109

Abbildung 2-71: Drehmoment der Knieextension (M_K) für 30°/s und 60°/s in verschiedenen Gelenkwinkeln (θ_K) bei 5% bzw. 90% Vorspannung (Bobbert & Harlaar, 1993, p. 257). 111

Abbildung 2-71: Drehmoment der Knieextension (M_K) für 120°/s und 210°/s in verschiedenen Gelenkwinkeln (θ_K) bei 5% bzw. 90% muskuläre Vorspannung (Bobbert & Harlaar, 1993, p. 257). 111

Abbildung 2-72: Exemplarische Kraftkurven mit unterschiedlicher muskulärer Vorspannung und Kraftaufbau. 111

Abbildung 2-73: Kennziffern der Schnellkraft, dargestellt anhand einer idealtypischen Kraft-Zeit-Kurve (Erläuterungen im Text). 115

Abbildung 3-1: Untersuchungsablauf (GTr, Gewöhnungstraining; Pre, Pre-Test; Post, Post-Test). 125

Abbildung 3-2: Ablauf des Pre- und Post-Test (Wdh., Wiederholungen). 129

Abbildung 3-3: Isometrie- (B) und Dynamikstange (C) am Gewichtsturm (A). 130

Abbildung 3-4: Grundeinstellungen Beinpresse (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005). 130

Abbildung 3-5: Testposition Isometrie sowie Start- und Endposition Dynamik, Beinpresse (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005). 131

Abbildung 3-6: Grundeinstellungen Beinstrecken (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005). 131

Abbildung 3-7: Testposition Isometrie sowie Start- und Endposition Dynamik, Beinstrecken (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005). 132

Abbildung 3-8: Grundeinstellungen Brustpresse (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005). 132

Abbildung 3-9: Testposition Isometrie sowie Start- und Endposition Dynamik, Brustpresse (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005). 132

Abbildung 3-10: Grundeinstellungen Bizeps Curl (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005). 133

Abbildung 3-11: Testposition Isometrie sowie Start- und Endposition Dynamik, Bizeps Curl (©DSHS Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, 2005). 133

Abbildung 3-12: Exemplarischer prozentualer Vergleich des 1 RM mit der isometrischen Maximalkraft für alle 4 Testübungen. 136

Abbildung 3-13: Vergleich verschiedener Datenfilter anhand der Ableitung der Daten des Seilzugwegaufnehmers. Auf die Darstellung polynomischer Glättung wurde verzichtet. 139

Abbildung 3-14: Exemplarischer Trainingssatz zur Verdeutlichung der Abgrenzung der Wiederholungsphasen am Beispiel Brustpresse, Gruppe EST. 147

Abbildung 3-15: Vorgehensweise der Reliabilitätsanalyse. 153

Abbildung 4-1: Anzahl der absolvierten Trainingseinheiten pro Gruppe. 167

Abbildung 4-2: Spannungsdauer der einzelnen konzentrischen und exzentrischen Wiederholungsphasen der Trainingsgruppen der Übung Beinpresse (*, signifikant höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$); t, tendenziell höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .10$)). Die Spannungsdauer der EST ist sowohl gegenüber der MST und MSTex für alle Wiederholungen signifikant ($p \leq .001$) erhöht und aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. 170

Abbildung 4-3: Spannungsdauer der einzelnen isometrischen Wiederholungsphasen der Trainingsgruppen der Übung Beinpresse (*, signifikant höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$); t, tendenziell höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .10$)). Die isometrische Spannungsdauer der Phasen 1 und 2 der EST ist sowohl gegenüber der MST und MSTex für alle Wiederholungen signifikant ($p \leq .001$ bzw. $p \leq .05$) erhöht und aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. 171

Abbildung 4-4: Leistung der konzentrischen Phase der Trainingssätze innerhalb der Gruppen für die Übung Beinpresse (*, signifikant höhere Leistung innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$); t, tendenziell höhere Leistung innerhalb der Gruppe ($p \leq .10$); #, signifikant geringere Leistung zu allen vorherigen Messzeitpunkten innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$)). Die signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt und können dem Text entnommen werden. 172

Abbildung 4-5: Spannungsdauer der einzelnen konzentrischen und exzentrischen Wiederholungsphasen der Trainingsgruppen der Übung Brustpresse (*, signifikant höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$); t, tendenziell höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .10$)). Die Spannungsdauer der EST ist sowohl gegenüber der MST und MSTex für alle Wiederholungen signifikant ($p \leq .001$) erhöht und aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. 174

Abbildung 4-6: Spannungsdauer der einzelnen isometrischen Wiederholungsphasen der Trainingsgruppen der Übung Brustpresse (*, signifikant höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$); (t, tendenziell höhere Spannungsdauer innerhalb der Gruppe ($p \leq .10$)). Die isometrische Spannungsdauer der Phasen 1 und 2 der EST ist sowohl gegenüber der MST und MSTex für alle Wiederholungen signifikant ($p \leq .001$ bzw. $p \leq .05$) erhöht und aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. 175

Abbildung 4-7: Leistung der konzentrischen Phase der Trainingssätze innerhalb der Gruppen für die Übung Brustpresse (*, signifikant geringere Leistung innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$); t, tendenziell geringere Leistung innerhalb der Gruppe ($p \leq .10$); #, signifikant geringere Leistung zu allen vorherigen Messzeitpunkten innerhalb der Gruppe ($p \leq .05$)). Die signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt und können dem Text entnommen werden. 176

Abbildung 4-8: Veränderungen des summierten Trainingsvolumens aller Trainingsübungen der Trainingsgruppen über den Untersuchungszeitraum ($*_x$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu Trainingseinheit x; t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) zu Trainingseinheit x). 177

Abbildung 4-9: Veränderungen des summierten Trainingsvolumens der Bein- und Brustpresse der Trainingsgruppen über den Untersuchungszeitraum ($*_x$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu Trainingseinheit x; t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) zu Trainingseinheit x). 178

Abbildung 4-10: Isometrische und dynamische Maximalkraft der Beinpresse im Untersuchungsverlauf (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$)..... 181

Abbildung 4-11: Isometrische und dynamische Maximalkraft des Beinstreckens im Untersuchungsverlauf (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$)..... 182

Abbildung 4-12: : Isometrische und dynamische Maximalkraft der Brustpresse im Untersuchungsverlauf (*, $p \leq .05$)..... 184

Abbildung 4-13: Isometrische und dynamische Maximalkraft des Bizeps Curl im Untersuchungsverlauf (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$)..... 185

Abbildung 4-14: Sprunghöhe im Squat Jump im Untersuchungsverlauf (t, $p \leq .10$). 185

Abbildung 4-15: Klassische Effektstärke *d* der Maximalkrafttests und des Squat Jumps in den Trainingsgruppen und in der Kontrollgruppe (vertikale Balken stellen das 95% Konfidenzintervall dar, die horizontalen Linien markieren die unterschiedliche Bedeutsamkeit der Effekte). 190

Abbildung 4-16: Veränderungen der relativen muskulären Vorspannung (relPre) für die Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_2$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Post-Test; $*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM; $*_{MST}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zur MST; $t_{1\ bzw.\ 50\ bzw.\ MST}$, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) zum Pre-Test bzw. zu 50% 1 RM bzw. zur MST)..... 195

Abbildung 4-17: Veränderungen der relativen muskulären Vorspannung (relPre) für die Brustpresse über den Untersuchungszeitraum. 196

Abbildung 4-18: Veränderungen der Variable maximalen Kraft (F_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum (*x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; 50% der Testlast von 50% 1 RM)..... 199

Abbildung 4-19: Veränderungen der Variable maximale Kraftentwicklung (RFD_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum (t_{KON}, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) zur Kontrollgruppe; t_{50}, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) zu 50% 1 RM; $*_{50}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 50% 1 RM). 200

Abbildung 4-20: Normalisierte Kraft-Zeit-Kurve der Testübung Beinpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 80% 1 RM (*, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$)). ... 201

Abbildung 4-21: Vergleichende Kraft-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM. 202

Abbildung 4-22: Normalisierte Kraft-Zeit-Kurve der Testübung Beinpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 50% 1 RM (*, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); t, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$)). 203

Abbildung 4-23: Vergleichende Kraft-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM. 203

Abbildung 4-24: Veränderungen der Variable maximale Leistung (P_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test; $*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM). 204

Abbildung 4-25: Veränderungen der Variable maximale Leistungsentwicklung (RPD_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test; $*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM). 205

Abbildung 4-26: Normalisierte Leistungs-Zeit-Kurve der Testübung Beinpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 80% 1 RM (*, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); t, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$)). 206

Abbildung 4-27: Vergleichende Leistungs-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM. 207

Abbildung 4-28: Normalisierte Leistungs-Zeit-Kurve der Testübung Beinpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 50% 1 RM (*, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); t, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$)). 208

Abbildung 4-29: Vergleichende Leistungs-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM. 209

Abbildung 4-30: Veränderungen der Variable maximale Geschwindigkeit (v_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test; $*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM; t_1, tendenzieller Unterschied zum Pre-Test ($p \leq .10$)). 209

Abbildung 4-31: Normalisierte Geschwindigkeits-Zeit-Kurve der Testübung Beinpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 80% 1 RM (*, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); t, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$)). 211

Abbildung 4-32: Vergleichende Geschwindigkeits-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM. 212

Abbildung 4-33: Normalisierte Geschwindigkeits-Zeit-Kurve der Testübung Beinpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 50% 1 RM (*, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); t, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$)). 213

Abbildung 4-34: Vergleichende Geschwindigkeits-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Beinpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM. 213

Abbildung 4-35: Veränderungen der Variable maximale Geschwindigkeitsentwicklung (RVD_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test; $*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM; $*_{MSTex}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zur MSTex). 214

Abbildung 4-36: Veränderungen der Variable Dauer der konzentrischen Phase (DOCC) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test; $*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM; t_1, tendenzieller Unterschied zum Pre-Test ($p \leq .10$); $t_{MSTex\ oder\ EST}$, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) zur MSTex oder EST). 215

Abbildung 4-37: Veränderungen der Variable zurückgelegter Weg (d_{max}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM; t_1, tendenzieller Unterschied zum Pre-Test ($p \leq .10$); $*_{MST}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zur MST). 216

Abbildung 4-38: Veränderungen der Variable Momentankraft bei maximaler momentaner Leistung (F_{Pmax}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_{50}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 50% 1 RM; $*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zur Pre-Test). 217

Abbildung 4-39: Veränderungen der Variable Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}) in der Beinpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_{80}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zu 80% 1 RM; $*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test; t_1, tendenzieller Unterschied zum Pre-Test ($p \leq .10$); $t_{EST,\ bzw.\ MST}$, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) zur EST bzw. MST). 218

Abbildung 4-40: Klassische Effektstärke *d* der Variablen der muskulären Leistung der Testübung Beinpresse in den Trainingsgruppen und in der Kontrollgruppe bei einer Testlast von 80% 1 RM (vertikale Balken stellen das 95% Konfidenzintervall dar, die horizontalen Linien markieren die unterschiedliche Bedeutsamkeit der Effekte). 224

Abbildung 4-41: Klassische Effektstärke *d* der Variablen der muskulären Leistung der Testübung Beinpresse in den Trainingsgruppen und in der Kontrollgruppe bei einer Testlast von 50% 1 RM (vertikale Balken stellen das 95% Konfidenzintervall dar, die horizontalen Linien markieren die unterschiedliche Bedeutsamkeit der Effekte). 225

Abbildung 4-42: Veränderungen der Variable maximale Kraft (F_{max}) für die Brustpresse über den Untersuchungszeitraum ($*_{50}$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum 50% 1 RM). 229

Abbildung 4-43: Veränderungen der Variable maximale Kraftentwicklung (RFD_{max}) für die Brustpresse über den Untersuchungszeitraum (t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$); *x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; EST, MST, MSTex oder KON entspricht den jeweiligen Gruppen; 50% der Testlast von 50% 1 RM). 230

Abbildung 4-44: Normalisierte Kraft-Zeit-Kurve der Testübung Brustpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 80% 1 RM (*, signifikanter Unterschied ($p < .05$); t, tendenzieller Unterschied ($p < .10$)). 231

Abbildung 4-45: Vergleichende Kraft-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM. 232

Abbildung 4-46: Normalisierte Kraft-Zeit-Kurve der Testübung Brustpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 50% 1 RM (*, signifikanter Unterschied ($p < .05$)). ... 233

Abbildung 4-47: Vergleichende Kraft-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM. 234

Abbildung 4-48: Veränderungen der Variable maximale Leistung (P_{max}) für die Brustpresse über den Untersuchungszeitraum (t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$); *x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; EST, MST, MSTex oder KON entspricht den jeweiligen Gruppen). 235

Abbildung 4-49: Veränderungen der Variable maximale Leistungsentwicklung (RPD_{max}) für die Brustpresse über den Untersuchungszeitraum (t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$); *x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; EST, MST, MSTex oder KON entspricht den jeweiligen Gruppen). 236

Abbildung 4-50: Normalisierte Leistungs-Zeit-Kurve der Testübung Brustpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 80% 1 RM (*, signifikante Verbesserung ($p < .05$); t, tendenzielle Verbesserung ($p < .10$); #, signifikante Verringerung ($p < .05$). 237

Abbildung 4-51: Vergleichende Leistungs-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM. 238

Abbildung 4-52: Normalisierte Leistungs-Zeit-Kurve der Testübung Brustpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 50% 1 RM (*, signifikante Verbesserung ($p < .05$); t, tendenzielle Verbesserung oder Verringerung ($p < .10$)). 238

Abbildung 4-53: Vergleichende Leistungs-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM. 239

Abbildung 4-54: Veränderungen der Variable maximale Geschwindigkeit (v_{max}) über den Untersuchungszeitraum ($*_1$, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) zum Pre-Test). 240

Abbildung 4-55: Veränderungen der Variable maximale Geschwindigkeitsentwicklung (RVD_{max}) für die Brustpresse über den Untersuchungszeitraum (t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$); *x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; EST, MST, MSTex oder KON entspricht den jeweiligen Gruppen). 241

Abbildung 4-56: Normalisierte Geschwindigkeits-Zeit-Kurve der Testübung Brustpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 80% 1 RM (*, signifikante Verbesserung ($p < .05$); t, tendenzielle Verbesserung ($p < .10$)). 242

Abbildung 4-57: Vergleichende Geschwindigkeit-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 80% 1 RM. 243

Abbildung 4-58: Normalisierte Geschwindigkeits-Zeit-Kurve der Testübung Brustpresse im Pre-Post-Vergleich bei einer Testlast von 50% 1 RM (*, signifikante Verbesserung ($p < .05$)). 244

Abbildung 4-59: Vergleichende Geschwindigkeit-Zeit-Kurven der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe für den Pre- und Post-Test der Testübung Brustpresse bei einer Testlast von 50% 1 RM. 244

Abbildung 4-60: Veränderungen der Variable Dauer der konzentrischen Phase (DOCC) über den Untersuchungszeitraum für die Brustpresse (t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$); *x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; EST, MST, MSTex oder KON entspricht den jeweiligen Gruppen)..... 245

Abbildung 4-61: Veränderungen der Variable zurückgelegter Gesamtweg (d_{max}) über den Untersuchungszeitraum für die Brustpresse ($*_1$, signifikanter Unterschied zum Pre-Test ($p \leq .05$)). 246

Abbildung 4-62: Veränderungen der Variable Momentankraft bei maximaler Leistung (F_{Pmax}) über den Untersuchungszeitraum für die Brustpresse (t_1, tendenzieller Unterschied zum Pre-Test ($p \leq .10$)). 247

Abbildung 4-63: Veränderungen der Variable Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t_{vmax}) über den Untersuchungszeitraum für die Brustpresse (t_x, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$); *x, signifikanter Unterschied ($p \leq .05$); das x gibt den jeweiligen Vergleich an: $_1$ = Pre-Test; EST, MST, MSTex oder KON entspricht den jeweiligen Gruppen). 248

Abbildung 4-64: Klassische Effektstärke *d* der Variablen der muskulären Leistung der Testübung Brustpresse in den Trainingsgruppen und in der Kontrollgruppe bei einer Testlast von 80% 1 RM (vertikale Balken stellen das 95%ige Konfidenzintervall dar, die horizontalen Linien markieren die unterschiedliche Bedeutsamkeit der Effekte). 253

Abbildung 4-65: Klassische Effektstärke *d* der Variablen der muskulären Leistung der Testübung Brustpresse in den Trainingsgruppen und in der Kontrollgruppe bei einer Testlast von 50% 1 RM (vertikale Balken stellen das 95%ige Konfidenzintervall dar, die horizontalen Linien markieren die unterschiedliche Bedeutsamkeit der Effekte). 254

Abbildung 4-66: Testosteronausschüttung der Trainingsgruppen zu den 4 Abnahmezeitpunkten an den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$; #, sig. Unterschied zwischen den Messzeitpunkten $p \leq .05$; $, tendenzieller Unterschied zwischen den Messzeitpunkten $p \leq .10$). 260

Abbildung 4-67: Cortisolausschüttung der Trainingsgruppen zu den 4 Abnahmezeitpunkte an den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$). 261

Abbildung 4-68: hGH-Ausschüttung der Trainingsgruppen zu den 4 Abnahmezeitpunkte an den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$; $, tendenzieller Unterschied ($p \leq .10$) Woche 1 und 6 MST). 262

Abbildung 4-69: IGF-1 Ausschüttung der Trainingsgruppen zu den 4 Abnahmezeitpunkte an den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$; #, sig. Unterschied zwischen den Messzeitpunkten $p \leq .05$; $, tendenzieller Unterschied zwischen den Messzeitpunkten $p \leq .10$). 262

Abbildung 4-70: : Testosteron/Cortisol-Quotient der Trainingsgruppen zu den 4 Abnahmezeitpunkte an den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 (*, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$; #, sig. Unterschied zwischen den Messzeitpunkten $p \leq .05$; $, tendenzieller Unterschied zwischen den Messzeitpunkten $p \leq .10$). 263

Abbildung 4-71: Area under curve with respect to increase (AUC_i) der Trainingsgruppen zu den Messzeitpunkten Woche 1 und 6 (hGH, human growth hormone; IGF-1, insulin-like growth factor 1; *, $p \leq .05$; t, $p \leq .10$). 264

Abbildung 5-1: Zukünftiges Forschungskonzept Schnellkrafttraining. 291

Abbildung 5-2: Differenziertes zukünftiges Forschungskonzept Schnellkrafttraining (die Buchstaben A bis O markieren die aufgezeigten konkreten Fragestellungen). 292

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Isometrische Explosiv- und Maximalkraft nach einem 6-wöchigen Bankdrück-Training mit explosiv-isometrischen Kontraktionen (Schlumberger & Schmidtbleicher, 2001). 20

Tabelle 2-2: Zusammenfassender Studienüberblick zum Vergleich intendiert-explosiver Kontraktionen mit anderen Bewegungsausführungen. 24

Tabelle 2-3: Differenz zwischen Pre- und Post-Testwerten für Geschwindigkeit, Kraft und Leistung beim Bankdrücken an der Multipresse mit Ausstoßen der Last bei 40% 1 RM (mod. nach Cronin et al., 2001a). 26

Tabelle 2-4: Pre- und Post-Testergebnisse für das 1 RM und die sportmotorischen Tests (mod. nach Harris et al., 2000). 27

Tabelle 2-5: Zusammenfassender Studienüberblick zum Vergleich unterschiedlicher Lasten beim intendiert-explosiven auxotonischen Krafttraining, Teil 1. 33

Tabelle 2-6: Zusammenfassender Studienüberblick zum Vergleich unterschiedlicher Lasten beim intendiert-explosiven auxotonischen Krafttraining, Teil 2. 34

Tabelle 2-7: Kraftveränderungen im Verlauf eines 6-monatigen Krafttrainings (mod. nach Marx et al., 2001, p. 639). 39

Tabelle 2-8: Belastungsumfang und -progression für die Trainingsübung Kniebeugen (mod. nach Palmieri, 1987). 41

Tabelle 2-9: Veränderungen in den Testübungen (mod. nach Westcott et al., 2001). 43

Tabelle 2-10: Reizkonfigurationen und Anpassungen auxotonischer Krafttrainingsstudien mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten, Teil 1 (mod. und ergänzt nach Pereira & Gomes, 2003, p. 429). 45

Tabelle 2-11: Reizkonfigurationen und Anpassungen auxotonischer Krafttrainingsstudien mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten, Teil 2 (mod. und ergänzt nach Pereira & Gomes, 2003, p. 429). 46

Tabelle 2-12: Reizkonfigurationen und Anpassungen auxotonischer Krafttrainingsstudien mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten, Teil 3 (mod. und ergänzt nach Pereira & Gomes, 2003, p. 429). 47

Tabelle 2-13: Akute hormonelle Auslenkungen nach unterschiedlichen Krafttrainingsprotokollen bei Querschnittstudien, Teil 1. 56

Tabelle 2-14: Akute hormonelle Auslenkungen nach unterschiedlichen Krafttrainingsprotokollen bei Querschnittstudien, Teil 2. 57

Tabelle 2-15: Basale und akute hormonelle Auslenkungen nach unterschiedlichen Krafttrainingsprotokollen bei Längsschnittstudien. 61

Tabelle 2-16: Übersicht etablierter Trainingsmethoden zur Verbesserung der Schnellkraft. 68

Tabelle 2-17: Ausgewählter Überblick der Schlüsselproteine im Sarkomer (mod. nach Caiozzo & Rourke, 2006, pp. 117–118; *, nicht bei Menschen expressiert; MHC, myosin heavy chain (schwere Myosinketten); MLC, myosin light chain (leichte Myosinketten)). ... 83

Tabelle 2-18: Schlüsseleigenschaften der Fasertypen (gekürzt nach Caiozzo & Rourke, 2006, pp. 122–123). ... 86

Tabelle 2-19: Zusammenfassung von Untersuchungen der akuten Hormonauslenkungen nach einem Hypertrophie-, Maximalkraft- und Schnellkrafttraining (mod. nach Crewther, Keogh, Cronin, & Cook, 2006). ... 91

Tabelle 2-20: Mechano-biologische Determinanten für trainingsinduzierte qualitative und quantitative Skelettmuskelremodellierung (mod. nach Toigo & Boutellier, 2006). ... 92

Tabelle 2-21: Belastungsabbruchkriterien im Krafttraining (mod. nach Preuß et al., 2006). ... 94

Tabelle 2-22: Zeitspannen für Trainingswirkungen im Krafttraining (Erfahrungswerte) (Grosser et al., 2008, S. 83). ... 105

Tabelle 2-23: Ergänzte mechano-biologische Determinanten für trainingsinduzierte qualitative und quantitative Skelettmuskelremodellierung (mod. nach Toigo & Boutellier, 2006 und Preuß et al., 2006). ... 105

Tabelle 2-24: Leistung und Arbeit bei unterschiedlicher muskulärer Vorspannung (mod. nach Wakayama et al., 2005, p. 344). ... 110

Tabelle 2-25: Variablen der Schnellkraftoperationalisierung, Teil 1. ... 118

Tabelle 2-26: Variablen der Schnellkraftoperationalisierung, Teil 2. ... 119

Tabelle 3-1: Gruppenzuordnung der Probanden auf Basis des Pre-Tests und Überprüfung mittels Kruskal-Wallis-Test. ... 126

Tabelle 3-2: Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Erhöhung der Muskelmasse (Hypertrophietraining, mod. nach Güllich & Schmidtbleicher, 1999). ... 127

Tabelle 3-3: Belastungskonfiguration der Trainingsgruppen. ... 128

Tabelle 3-4: Exemplarische Abgrenzung der vier Wiederholungsphasen am Beispiel Brustpresse, Gruppe EST. ... 148

Tabelle 3-5: Beurteilung von Reliabilitätskoeffizienten (Bös, 2001, S. 548) und Effektgröße *d* (Kline, 2005, p. 133). ... 153

Tabelle 3-6: Praktische Bedeutsamkeit der Effektgröße für Mittelwertvergleiche (mod. nach Hopkins, 2010). ... 157

Tabelle 4-1: Zusammenfassende Übersicht der ausgewählten Variablen zur Schnellkraftoperationalisierung (Verteilung und Reliabilität). ... 165

Tabelle 4-2: Mittlere Dauer der Trainingseinheiten im Gruppenvergleich. ... 168

Tabelle 4-3: Mittlere Satz- bzw. Übungspause im Gruppenvergleich. ... 168

Tabelle 4-4: Tatsächliche Belastungskonfiguration der Trainingsgruppen für die Übung Beinpresse. ... 169

Tabelle 4-5: Tatsächliche Belastungskonfiguration der Trainingsgruppen für die Übung Brustpresse. 173

Tabelle 4-6: Ergebniszusammenfassung der Messwiederholung aller Testübungen für die Maximal- und Sprungkraft. 186

Tabelle 4-7: Nachträglich berechnete Effektstärken der Maximal- und Sprungkraft der Primärstudien. 192

Tabelle 4-8: Mittlere Effekte der dynamischen und isometrischen Maximalkraft in den Gruppen. 193

Tabelle 4-9: Reliabilität der relativen muskulären Vorspannung. 194

Tabelle 4-10: Klassische Effektstärke *d* der muskulären Vorspannung in der Testübung Beinpresse für die Trainingsgruppen und die Kontrollgruppe. 195

Tabelle 4-11: Klassische Effektstärke *d* der muskulären Vorspannung in der Testübung Brustpresse für die Trainingsgruppen und die Kontrollgruppe. 196

Tabelle 4-12: Ergebniszusammenfassung der Messwiederholung der Testübung Beinpresse für die Variablen der muskulären Leistung. 220

Tabelle 4-13: Zusammenfassender Überblick der Veränderungen der Variablen der muskulären Leistung für die Testübung Beinpresse bei den Testlasten 80% und 50% 1 RM. 222

Tabelle 4-14: Nachträglich berechnete klassische Effektstärken *d* der Schnellkraftvariablen der Primärstudien, Unterkörper. 227

Tabelle 4-15: Ergebniszusammenfassung der Messwiederholung der Testübung Brustpresse für die Variablen der muskulären Leistung. 249

Tabelle 4-16: Zusammenfassender Überblick der Veränderungen der Variablen der muskulären Leistung für die Testübung Brustpresse bei den Testlasten 80% und 50% 1 RM. 251

Tabelle 4-17: Nachträglich berechnete klassische Effektstärken *d* der Schnellkraftvariablen der Primärstudien, Oberkörper. 258

Tabelle 4-18: Ergebniszusammenfassung der Varianzanalyse mit Messwiederholung der akuten hormonellen Reaktionen nach den unterschiedlichen Belastungsprotokollen zu den Messzeitpunkten Woche 1 und 6. 265

Tabelle 4-19: Ergebniszusammenfassung der Varianzanalyse mit Messwiederholung der AUC_i nach den unterschiedlichen Belastungsprotokollen zu den Messzeitpunkten Woche 1 und 6. 266

Tabelle 4-20: Zusammenfassender Überblick der Veränderungen der akuten hormonellen Reaktionen nach den unterschiedlichen Belastungsprotokollen. 267

Tabelle 4-21: Zusammenfassung von Untersuchungen der akuten Hormonauslenkungen nach einem Hypertrophie-, Maximalkraft- und Schnellkrafttraining (Crewther et al., 2006). 268

9 Formelverzeichnis

Formel 2-1: Impuls (Bührle 1985, S. 103). 65

Formel 2-2: Physiologischer Muskelquerschnitt (PCSA). 80

Formel 2-3: S-Gradient (Zatsiorsky, 1996). 107

Formel 2-4: Initialer Kraftanstieg (Hohmann & Giggel, 2005). 107

Formel 2-5: Explosivkraft (EXK; Bührle, 1983). 112

Formel 2-6: Rate of force development (RFD; Aagaard & Bangsbo, 2006). 112

Formel 2-7: Schnellkraftindex (SKI; Bührle, 1983). 113

Formel 2-8: Index of explosive strength/Explosivkraftindex (IES; Zatsiorsky, 1996). 113

Formel 2-9: Reaktivitätskoeffizienten (RC; Zatsiorsky, 1996). 113

Formel 2-10: A-Gradient (Zatsiorsky, 1996). 113

Formel 2-11: Mittlere Explosivkraft (EXK_{mit}; Höss-Jelten, 2004). 114

Formel 2-12: Relative Explosivkraft (EXK_{rel}; Höss-Jelten, 2004). 114

Formel 2-13: Relative Explosivkraft (EXK_{rel} in Prozent der F_{max}/s; Bührle, 1983). 114

Formel 2-14: Arbeit. 117

Formel 2-15: Rate of power development (RPD_{max}, in Anlehnung an Cormie et al., 2008). 119

Formel 2-16: Integrale unter Kraft-, Leistungs-, Geschwindigkeit- und Beschleunigungs-Zeit-Kurven. 119

Formel 3-1: Hypothetisches 1 RM (Epley, 1985). 136

Formel 3-2: Butterworth Filter (Winter, 2005). 140

Formel 3-3: Estimate the mean optimum cutoff frequency (Yu, 1999). 140

Formel 3-4: Calculate the relative mean residual (yu, 1999). 140

Formel 3-5: Estimate the final optimum cutoff frequency (Yu, 1999). 140

Formel 3-6: Integration von Kurven auf Basis der Trapezregel. 141

Formel 3-7: Berechnung der Geschwindigkeit (Winter, 2005). 143

Formel 3-8: Berechnung der Beschleunigung (Winter, 2005). 143

Formel 3-9: Berechnung der Leistung. 143

Formel 3-10: Rate of force development (RFD). 143

Formel 3-11: Rate of power development (RPD). 143

Formel 3-12: Rate of velocity development (RVD). 143

Formel 3-13: Rate of acceleration development (RAD). 143

Formel 3-14: Normierung der Kraft (F_{norm}) auf die Maximalkraft (F_{max}). 144

Formel 3-15: Normierung der Kraftentwicklung (RFD_{norm}) auf die Maximalkraft (F_{max}). 144

Formel 3-16: Relative muskuläre Vorspannung (relPre)..... 144

Formel 3-17: Zurückgelegter Gesamtweg (d_{max})..... 144

Formel 3-18: Normalisierung der Kraft-, Leistungs- und Geschwindigkeits-Zeit-Kurven (Cormie et al., 2008)..... 144

Formel 3-19: Summation der Spannungsdauer..... 149

Formel 3-20: Mittlere maximale Leistung der konzentrischen Phase..... 149

Formel 3-21: Mittlere integrierte Leistung der konzentrischen Phase..... 149

Formel 3-22: „Area under curve with respect to increase" (AUC_i, Pruessner et al., 2003)..... 150

Formel 3-23: D'Agostino-Pearson Test (Sheskin, 2004)..... 151

Formel 3-24: Log-Transformation (Hopkins, 2000a)..... 152

Formel 3-25: Mittlere Differenz (*MD*; Hopkins, 2000b)..... 152

Formel 3-26: Variationskoeffizient (*CV*; Hopkins, 2000b)..... 152

Formel 3-27: Intraclasskorrelationskoeffizienten *r* (ICC_r; Hopkins, 2000b)..... 152

Formel 3-28: Effektgröße *d* (Kline, 2005)..... 152

Formel 3-29: Effektstärke *d* (Fröhlich & Pieter, 2009)..... 157

Formel 3-30: Gepoolte Standardabweichung (Fröhlich & Pieter, 2009)..... 157

Formel 3-31: Standardfehler (Westermann, 2000)..... 157

Formel 3-32: Schätzung des Konfidenzintervalls (*KI*; Westermann, 2000)..... 157

10 Abkürzungsverzeichnis

°/s	Grad pro Sekunde
1 RM	one repetition maximum [Einer Wiederholungsmaximum]
µm	Mikrometer, 0,000001 m = 1/1000 mm = $1 \cdot 10^{-6}$ m
α	Irrtumswahrscheinlichkeit
A-Grad	Approximationsgradient
ADP	Adenosindiphosphat
Akt	aktivierte Proteinkinase B
AMPK	Adenosinmonophosphat-aktivierte Proteinkinase
AP	Ausgangsposition
AP1	activator protein 1
ATP	Adenosintriphosphat
a_{mw}	mittlere Beschleunigung
C	Cortisol
Ca^{2+}	Calciumionen
CaMKII/IV	Ca^{2+}-calmodulin abhängige Kinasen I und IV
CC	kontraktile Komponente
CMJ	Countermovement jump
CV	Variationskoeffizienten
d	Effektgröße *d*
d_{max}	zurückgelegter Gesamtweg
DOCC	Dauer der konzentrischen Phase
DOMS	delayed onset muscle soreness, Muskelkater
eIF2B	eukaryotic initiation factor 2B
eIF4E	eukaryotic initiation factor 4E
EP	Endposition
EST	Einsatz-Training/Einsatz-Trainingsgruppe
F	*F*-Wert der *F*-Verteilung nach Fisher
F_{max}	maximale Kraft
F_{mw}	mittlere Kraft
F_{Pmax}	Kraft bei P_{max}
FTG	fast twitch glycolytic
FTO	fast twitch oxidative
FOXO	forkhead box O
GSK3β	glycogen synthase kinase 3 beta
H^+	Wasserstoff-Kation
hGH	human growth hormone
Hz	Hertz
ia_{30}	Integral unter der Beschleunigungs -Zeit-Kurve bis 30 ms
ia_{50}	Integral unter der Beschleunigungs -Zeit-Kurve bis 50 ms
ia_{100}	Integral unter der Beschleunigungs -Zeit-Kurve bis 100 ms
ia_{200}	Integral unter der Beschleunigungs -Zeit-Kurve bis 200 ms
iaa_{max}	Integral unter der Beschleunigungs -Zeit-Kurve bis P_{max}
ICC_r	Intraclasskorrelationskoeffizienten *r*
IES	index of explosive strength, Schnell-/Explosivkraftindex
iF_{30}	Integral unter der Kraft-Zeit-Kurve bis 30 ms
iF_{50}	Integral unter der Kraft-Zeit-Kurve bis 50 ms
iF_{100}	Integral unter der Kraft-Zeit-Kurve bis 100 ms
iF_{200}	Integral unter der Kraft-Zeit-Kurve bis 200 ms
iFF_{max}	Integral unter der Kraft-Zeit-Kurve bis F_{max}
IGF-1	insulin-like growth factor 1
IL-6	Interleukin-6

iP_{30}	Integral unter der Leistungs-Zeit-Kurve bis 30 ms
iP_{50}	Integral unter der Leistungs-Zeit-Kurve bis 50 ms
iP_{100}	Integral unter der Leistungs-Zeit-Kurve bis 100 ms
iP_{200}	Integral unter der Leistungs-Zeit-Kurve bis 200 ms
iPP_{max}	Integral unter der Leistungs-Zeit-Kurve bis P_{max}
isoMK	isometrische Maximalkraft
iv_{30}	Integral unter der Geschwindigkeits -Zeit-Kurve bis 30 ms
iv_{50}	Integral unter der Geschwindigkeits -Zeit-Kurve bis 50 ms
iv_{100}	Integral unter der Geschwindigkeits -Zeit-Kurve bis 100 ms
iv_{200}	Integral unter der Geschwindigkeits -Zeit-Kurve bis 200 ms
ivv_{max}	Integral unter der Geschwindigkeits-Zeit-Kurve bis P_{max}
J	Joule
JAK2	janus kinase 2
k.A.	keine Angabe
kg	Kilogramm
KI	Konfidenzintervall
kiP	integrierte konzentrische Leistung
kN	Kilonewton
KON	Kontrollgruppe
kP_{max}	maximale konzentrischen Leistung
m	Meter
M	Mittelwert
m/s	Meter pro Sekunde
MAPK	mitogen-activated protein kinase
MD	mittlere Differenz
ME	Motorische Einheit/en
MHC	Myosin heavy chain [schwere Myosinkette]
min.	Minute(n)
MLC	Myosin light chain [leichte Myosinkette]
ms	Millisekunden
MST	Mehrsatz-Training/Mehrsatz-Trainingsgruppe
MSTex	Intendiert-explosives Mehrsatz-Training/Mehrsatz-Trainingsgruppe
MTC	Muskel-Sehnen-Komplex
mTOR	mammalian Target of Rapamycin
n	Stichprobengröße
N	Newton
N/s	Newton pro Sekunde
NFAT	nuclear factor of activated T cells
NFκB	nuclear factor kappa B
p	*p*-Wert der Irrtumswahrscheinlichkeit
p./pp.	page/pages
η^2_p	partielles Eta-Quadrat
pCa^{2+}	Calciumionen Permeabilität
P_i	Phosphat
PI3K	phosphatidylinositol-3-kinase
PKC	Proteinkinase C
P_{max}	maximale Leistung
PmM	Punkt des momentanen Muskelversagens
PmM+	Punkt des momentanen Muskelversagens + Intensitätstechniken
P_{mw}	mittlere Leistung
Pre	direkt vor dem Training
Post0	direkt nach dem Training
Post15	15 min. nach dem Training

Post30	30 min. nach dem Training
RAD_{max}	maximale momentane Beschleunigungsentwicklung
RC	reactivity coefficient, Reaktivitätskoeffizient
RFD_{30}	mittlere Kraftentwicklung von 0-30 ms
RFD_{50}	mittlere Kraftentwicklung von 0-50 ms
RFD_{100}	mittlere Kraftentwicklung von 0-100 ms
RFD_{200}	mittlere Kraftentwicklung von 0-200 ms
RFD_{max}	maximale momentane Kraftentwicklung
RFD_{mit}	mittlere Kraftentwicklung von 20-70% F_{max}
RFD_{rel}⅙	relativierter Kraftanstieg bis ⅙ F_{max}
RFD_{rel}½	relativierter Kraftanstieg bis ½ F_{max}
RFD_{rel}⅔	relativierter Kraftanstieg bis ⅔ F_{max}
ROM	range of motion, Bewegungsumfang/-ausmaß
RPD_{max}	maximale momentane Leistungsentwicklung
r_s	Rangkorrelation nach Spearman
s.	siehe
S.	Seite
RVD_{max}	maximale momentane Geschwindigkeitsentwicklung
S_Grad	Startkraft-Gradient
SD	Standardabweichung
s, sec.	Sekunde(n)
SEC	serienelastische Komponente
SEM	Standardfehler
SJ	Squat jump
subWZ	submaximale Wiederholungszahl
SP	Satzpause
SR	Sarkoplasmatisches Retikulum
ST	slow twitch
STK_{20}	Startkraft nach 20 ms
STK_{30}	Startkraft nach 30 ms
STK_{50}	Startkraft nach 50 ms
STK_{60}	Startkraft nach 60 ms
STK_{100}	Startkraft nach 100 ms
STK⅙	Startkraft von 0-⅙ F_{max}
T	Testosteron
T/C-Quotient	Testosteron/Cortisol-Quotient
tAntaH-F	antagonistische Hemmung, Kriterium F
tAntaH-v	antagonistische Hemmung, Kriterium v
TE	Trainingseinheit/en
t_{Fmax}	Zeit bis zum Erreichen der maximalen Kraft
$t_{Fmax½}$	Zeit bis zum Erreichen von 50% der maximalen Kraft
$t_{Fmax-vmax}$	Zeitdauer zwischen F_{max} und v_{max}
TGFβ	transforming growth factor-β
TNF α	tumor necrosis factor-α
t_{Pmax}	Zeitdauer bis P_{max}
$t_{Pmax-vmax}$	Zeitdauer zwischen P_{max} und v_{max}
$t_{Pmax-Fmax}$	Zeitdauer zwischen P_{max} und F_{max}
$t_{Pmax-dmax}$	Zeitdauer zwischen P_{max} und d_{max}
t_{vmax}	Zeit bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit
ÜP	Übungspause
v_{Fmax}	Geschwindigkeit bei F_{max}
v_{max}	maximale Geschwindigkeit
v_{mw}	mittlere Geschwindigkeit

v_{Pmax}	Geschwindigkeit bei P_{max}
t_{RADmax}	Zeitdauer bis RAD_{max}
t_{RFDmax}	Zeitdauer bis RFD_{max}
t_{RPDmax}	Zeitdauer bis RPD_{max}
t_{RVDmax}	Zeitdauer bis RVD_{max}
W	Leistung in Watt
W/s	Watt pro Sekunde
Wdh.	Wiederholung/en
WM	Wiederholungsmaximum
WP	Wiederholungspause
χ^2	Chi-Quadrat-Wert der Chi-Quadrat-Verteilung nach Pearson

11 Anhang

11.1 Lebenslauf

Name	Peter Preuß
Geburtsdatum	09.04.1975
Geburtsort	Bremerhaven
Adresse	Legionsweg 17, 53117 Bonn Tel.: 0228 2618508 Mobil: 0163 2346388 E-Mail: preuss.peter@googlemail.com
Familienstand	verheiratet

■ Schulbildung

1981 - 1985	Besuch der Grundschule Wehdel
1985 - 1987	Besuch der Orientierungsstufe Schiffdorf
1987 - 1994	Besuch des Gymnasiums Wesermünde (Bremerhaven)
1994	Abitur

■ Zivildienst

1994 - 1995	Zentralkrankenhaus Reinkenheide (Bremerhaven)

■ Studium

WS 1995/96	Studium der Medizin an der Christian Albrecht Universität Kiel, kein Abschluss
SS 1996 - SS 2001	Studium der Sportwissenschaft an der Ruhr-Universität Bochum Abschluss: Diplom-Sportlehrer, Note: sehr gut Theoretische Schwerpunkte – Trainingswissenschaft – Sportpsychologie Sportpraktische Studienschwerpunkte – Leichtathletik – Rudern
Diplomarbeit	Vergleich der Auswirkungen eines Krafttrainings mit niedrigem gegenüber hohem Volumen auf die Muskelhypertrophie und die Maximalkraft bei fortgeschrittenen männlichen Fitnesssportlern; Note: sehr gut
WS 1998/99 - SS 2001	Begleitendes Studium der Wirtschaftswissenschaften an der Ruhr-Universität Bochum, kein Abschluss

Leistungsnachweise
- Finanzbuchhaltung
- Kostenrechnung
- Zivilrecht
- Mathematik für Ökonomen

SS 2002 - WS 2005/06 Promotionsstudium Sportwissenschaft an der Ruhr-Universität Bochum

Seit WS 2006/07 Promotionsstudium Sportwissenschaft an der Deutschen Sporthochschule Köln
Arbeitstitel „Muskuläre Leistung im Krafttraining“
BISp-Projekt IIA1-VF 07/05/09/2005

■ Berufserfahrungen

1992 - 1995 Leiter und Trainer im Bereich Kraft- und Fitnesstraining des TSV Wehdel e.V.

1997 - 2001 Durchführung des Betriebssports für das „Institut für Gesundheits-Sport“ (IFGS) in den Berufsgenossenschaftlichen Kliniken Bergmannsheil in Bochum
- Fitness
- Wirbelsäulengymnastik
- Badminton
- Volleyball

1999 - 2002 Freiberuflicher und angestellter Sport-Therapeut im ambulanten Rehabilitationszentrum „ortho-mobile“ in Hattingen
- Betreuung von orthopädischen und traumatologischen Patienten
- Organisation und Durchführung von Präventionskursen

10/2001 - 03/2002 Sportliche Leitung im Fitness-Club „Station One“, Bochum
- Erarbeitung von Konzepten zur Trainingsgestaltung
- Konzeption und Durchführung von Mitarbeiterfortbildungen
- Kundenbetreuung

2001 - 2005 Freiberufliche Durchführung von Präventionsmaßnahmen für Krankenkassen (AOK, TK, Bundesknappschaft)
- Rückenschule
- Sanftes Rückentraining
- Fit und Aktiv

04/2002 - 10/2002 Diplom-Sportlehrer in der „Fitness-Factory“ Bochum
- Kundenbetreuung
- Durchführung von Seminaren (Training, Ernährung)
- Redaktion der Zeitschrift „Fitness-Szene“

11/2002 - 04/2003	Wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Sportwissenschaft und Sport der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
05/2003 - 04/2008	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Sportwissenschaft und Sport der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn Forschung – Krafttraining und -diagnose – Lehre – Seminar und Übung Krafttraining im Alterssport – Seminar und Übung Nordic Walking im Alterssport
Seit WS 2004/05	Tätigkeit im Hochschulsport der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn – Konzeptionelle und sportliche Unterstützung sowie Betreuung des Gesundheitstrainingszentrums „halle 5“ der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn – Durchführung der Übungsleiterfortbildung Fitness-TrainerIn
Seit 2005	Ausbildungsleiter und Referent der Deutschen Trainer Akademie (DTA), Köln – Fitness B-Lizenz (Ausbildungsleiter) – Cardio Fitness Trainer – Seniorenfitness – Medical Nordic Walking und XCO Walking & Running Referent des Fußball- und Leichtathletikverbandes Westfalen (FLVW) für Lauf/Walking/Nordic Walking
Seit 2007	Freiberuflicher Autor für Fachzeitschriften und Fachbücher
Seit 05/2008	Lehrkraft für besondere Aufgaben mit 13 SWS (F 1) am Institut für Bewegungs- und Sportgerontologie, DSHS Köln Forschung – Krafttraining und -diagnose Lehre – Projekt Intervention mit dem Schwerpunkt konditionelle Anforderungen (SE, ÜB) – Training körperlicher und kognitiver Leistungsfähigkeit im Altersgang (SE) – Nordic Walking im Alterssport (SE, ÜB) – XCO Walking & Running im Alterssport (SE, ÜB) – Kraftfähigkeiten in der Sportpraxis (ÜB) Betreuung – Masterthesis und begleitende Veranstaltung (Kolloquium, Projekt) – Diplomarbeiten – Examenslehrproben – EDV-Beauftragter des Instituts

Seit 09/2008	Kommissarische Institutsleitung des Instituts für Bewegungs- und Sportgerontologie, DSHS Köln Leitung des Instituts – Lenkung und Steuerung auf Instituts- und Hochschulebene – Einstellungen/Entlassungen von Mitarbeitern (nichtwissenschaftlich und wissenschaftlich) – Personalgespräche & Vorgesetztenfunktionen – Personalplanung, Aufgabenzuteilung Organisation des Instituts – Finanzen (Haushaltsführung, Drittmittel) – Verantwortliche Organisation von Veranstaltungen mit Außenwirkung
Seit 03/2009	Referent der PERFORM-SPORTS GmbH (München, Deutschland) für XCO Walking & Running
Seit 05/2009	Referent der Universitären Weiterbildung der Deutschen Sporthochschule Köln für XCO Walking & Running
Seit 08/2009	50% Lehrkraft für besondere Aufgaben mit 6,5 SWS (F 1) sowie kommissarische Institutsleitung des Instituts für Bewegungs- und Sportgerontologie, DSHS Köln 50% Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Allgemeinen Hochschulsport der Universität Bonn – Planung, konzeptionellen Gestaltung, Organisation und Verwaltung des Hochschulsportangebots – des Gesundheitstrainingszentrums „halle 5“ der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn – Durchführung der Übungsleiterfortbildung Fitness-TrainerIn
Seit 02/2010	TRX© STC-Ausbilder für Fitness Anywhere, Inc. (San Francisco, California, USA)

■ Qualifikationen und Fortbildungen

1992	Abschluss Fitness-Lehrer
2000	125-stündiger Fortbildungskurs Medizinische Trainingstherapie
2002	DLV B-Lizenz Leichtathletik Block Mehrkampf
2005	Lauf/Walking/Nordic-Walking LehrTrainer des Fußball- und Leichtathletik Verbandes Westfalen (FLVW)
2009	XCO Walking & Running Mastertrainer Mündliche Prüfungen fair gestalten (Hochschuldidaktisches Seminar, Deutsche Sporthochschule Köln)
2010	Mitarbeiter richtig führen (Career Center, Universität Bonn) zertifizierter TRX© Ausbilder FMS Certified specialist

■ Sonstige Qualifikationen

Sprachkenntnisse:	Englisch Französisch Grundkenntnisse
EDV-Kenntnisse:	umfangreiche Kenntnisse in – Microsoft Office – Adobe Produktpalette – Webanwendung (CMS etc.) – Diagnosesoftware – u.v.m. fortgeschrittene Programmierkenntnisse – Visual Basic for Applications (VBA)

11.2 Ergänzende Erläuterungen, Tabellen und Abbildungen

Die ergänzenden Erläuterungen sowie die ausführlichen Tabellen und Abbildungen finden sich aufgrund der Fülle des Materials in einem separaten, erläuternden Anhangsband.